

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

№ 1(2)/2023

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2788-6603

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

УДК 004

DOI: <https://doi.org/10.17721/AIT.2023.1>

Подано теоретичні та практичні результати досліджень із програмної інженерії, прикладних інформаційних систем і технологій, мережних та інтернет-технологій, інженерії знань штучного й обчислювального інтелекту, математичних основ інформаційних технологій, інформаційної аналітики й аналітики даних, машинного навчання та розпізнавання образів, цифрових технологій управління IT-проєктами, розумних систем та інтернету речей.

Для науковців, фахівців, студентів.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР	Снитюк Віталій, д-р техн. наук, проф. (Україна)
ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА	Плющ Олександр, д-р техн. наук, доц. (Україна)
ВІДПОВІДАЛЬНІ СЕКРЕТАРІ	Тменова Наталія, канд. фіз.-мат. наук, доц. (Україна) Федусенко Олена, канд. техн. наук, доц. (Україна)
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	Аль-Амморі Алі, д-р техн. наук, проф. (Казахстан); Ахмед-Закі Дархан, д-р техн. наук (Україна); Барабаш Олег, д-р техн. наук, проф. (Україна); Бісікало Олег, д-р техн. наук, проф. (Україна); Бичков Олексій, д-р техн. наук, проф. (Україна); Вовк Володимир, проф. (Велика Британія); Гаврилко Євгеній, д-р техн. наук, проф. (Україна); Гнатієнко Григорій, канд. техн. наук (Україна); Корабльов Микола, д-р техн. наук, проф. (Україна); Корнага Ярослав, д-р техн. наук, доц., проф. (Україна); Кравченко Юрій, д-р техн. наук, проф. (Україна); Малахов Євген, д-р техн. наук, проф. (Україна); Марченко Олександр, д-р техн. наук, проф. (Україна); Машков Віктор, д-р техн. наук, доц., проф. (Чехія); Медведєва Олена, д-р техн. наук, проф. (Україна); Морозов Віктор, канд. техн. наук, проф. (Україна); Мухін Вадим, д-р техн. наук, проф. (Україна); Плескач Валентина, д-р екон. наук, проф. (Україна); Рот Хуберт, проф. (Німеччина); Самохвалов Юрій, д-р техн. наук, проф. (Україна); Семенов Андрій, д-р техн. наук, проф. (Україна); Теленик Сергій, д-р техн. наук, проф. (Україна); Туркін Ігор, д-р техн. наук, проф. (Україна); Циганок Віталій, д-р техн. наук, ст. наук. співроб. (Україна)
Адреса редколегії	факультет інформаційних технологій вул. Богдана Гаврилишина, 24, м. Київ, 04116 ☎ (38044) 481 45 26 e-mail: ait.knu.fit@gmail.com
Затверджено	вченою радою факультету інформаційних технологій 11.09.23 (протокол № 1)
Зареєстровано	Міністерством інформації України Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 24719-14659P від 04.01.21
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет" Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	ВПЦ "Київський університет" 6-р Тараса Шевченка, 14, м. Київ, 01601 ☎ (38044) 239 32 22, 239 31 58, 239 31 28 e-mail: vpс@knu.ua

ADVANCED INFORMATION TECHNOLOGY

№ 1(2)/2023

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSN 2788-6603

TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV

UDC 004

DOI: <https://doi.org/10.17721/AIT.2023.1>

Theoretical and practical results of research in software engineering, applied information systems and technologies, network and Internet technologies, knowledge engineering, artificial and computational intelligence, mathematical foundations of information technology, information analytics and data analytics, machine learning and pattern recognition, digital management technologies of IT projects, smart systems and the Internet of Things are presented.

For scientists, specialists, students.

EDITOR-IN-CHIEF	Vitaliy Snytyuk, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine)
DEPUTY OF EDITOR-IN-CHIEF	Oleksandr Pliushch, DSc (Engin.), Assoc. Prof. (Ukraine)
EXECUTIVE SECRETARIES	Tmienova Nataliia, PhD, Assoc. Prof. (Ukraine) Olena Fedusenko, PhD, Assoc. Prof. (Ukraine)
EDITORIAL BOARD	Ahmed-Zaki Darkhan, DSc (Engin.) (Kazakhstan); Al-Ammouri Ali, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Barabash Oleg, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Bisikalo Oleg, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Bychkov Olexiy, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Havrylko Yevhen, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Hnatienko Hrygorii, PhD (Engin.) (Ukraine); Korablev Mykola, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Kornaga Yaroslav, DSc (Engin.), Assoc. Prof., Prof. (Ukraine); Kravchenko Yuriy, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Malakhov Eugene, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Marchenko Oleksandr, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Mashkov Viktor, DSc (Engin.), Assoc. Prof., Prof. (Czech Republic); Medvedieva Olena, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Morozov Victor, Phd. (Engin.), Prof. (Ukraine); Mukhin Vadym, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Pleskach Valentyna, DSc (Econ.), Prof. (Ukraine); Roth Hubert, Prof. (Germany); Samokhvalov Yuriy, DSc (Engin.), Prof., (Ukraine); Semenov Andriy, DSc (Engin.), Prof., (Ukraine); Telenyk Sergii, DSc (Engin.), Prof. (Ukraine); Tsyganok Vitaliy, DSc (Engin.), Senior Researcher (Ukraine); Turkin Igor, DSc (Engin.), Prof., (Ukraine); Vovk Vladimir, Prof. (Great Britain)
Address	Faculty of Information Technology 24, Bohdan Hawrylyshyn str., Kyiv, 04116 ☎ (38044) 481 45 26 e-mail: ait.knu.fit@gmail.com
Approved by	the Academic Council of the Faculty of Information Technology 11.09.23 (protocol № 1)
Registered by	the Ministry of Information of Ukraine Certificate of state registration KB № 24719-14659P dated 04.01.21
Founder and publisher	Taras Shevchenko National University of Kyiv Publishing and Polygraphic Center "Kyiv University" Certificate of entry into the State Register ДК № 1103 dated 31.10.02
Address	PPC "Kyiv University" 14, Taras Shevchenka Blvd., Kyiv, 01601 ☎ (38044) 239 32 22, 239 31 58, 239 31 28 e-mail: vpc@knu.ua

ЗМІСТ

Прикладні інформаційні системи та технології

ХЛЕВНИЙ Андрій, ХЛЕВНА Юлія, КАШАПОВА Лілія Концептуальна модель функціонування проекту електронної комерції.....	6
ЖУЛАНОВА Ольга, ВАЩІЛІНА Олена Елементи нейромережної технології аналізу ставлення користувачів мережі "Твітер" до брендів.....	13
ПЛЕСКАЧ Валентина, КРИВОЛАПОВ Ярослав, КРИВОЛАПОВ Гліб Застосування дронів у транспортній інфраструктурі.....	23
ВОРОХ Альона, КРАВЧЕНКО Ольга, СИВОГЛАЗ Дмитро Архітектура IoT-екосистеми реабілітаційного центру відновлення опорно-рухового апарату.....	27
ТКАЧЕНКО Ольга, ГОЛУБЕНКО Олександр Оптимізація однопроцесорного оброблення мультимедіа.....	32
СТАРОВОЙТ Тетяна, ЗАЙЧЕНКО Юрій Гібридна квантово-вдосконалена модель штучного інтелекту в задачі автоматичного розпізнавання та швидкого перетворення неструктурованої текстової інформації на просторі.....	38
ЖЕЛДАК Тімур, ЗІБОРОВ Ілля Структура та функції інтегрованої СППР у процесах керування багатоетапним прокатним виробництвом.....	49

Мережні й інтернет-технології

ДУДНІК Андрій, ТРУШ Олександр, ЛЕЩЕНКО Ольга, ДАХНО Наталія Метод вимірювання відстані у бездротових сенсорних мережах мікропроцесорним частотоміром.....	58
ПЛЮЩ Олександр, БОЛЬШАКОВ Андрій Імітаційна комп'ютерна модель процесів розповсюдження сигналів у коаксіальному кабелі.....	64
ПЛЮЩ Олександр, КРАВЧЕНКО Юрій, ТРУШ Олександр Рекурентний алгоритм проектування телекомунікаційних систем і мереж.....	73

Інформаційна аналітика й аналітика даних

ГНАТІЄНКО Григорій, ІЛАРІОНОВ Олег, ТМЄНОВА Наталія Модельовання українського наукового простору на основі аналізу даних про захист дисертацій.....	80
---	----

Цифрові технології управління IT-проектами

ГЛАДКА Мирослава, КУЧАНСЬКИЙ Олександр, ЛІСНЕВСЬКИЙ Ростислав Формування команди IT-проекту на основі компетентнісних характеристик персоналу.....	88
ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ	98

CONTENTS

Applied information systems and technology

KHLEVNYI Andrii, KHLEVNA Iuliia, KASHAPOVA Liliia A conceptual model of functioning of e-commerce project.....	6
ZHULANOVA Olga, VASHCHILINA Olena Elements of neural networks technology for analyzing the attitude of Twitter users towards brands.....	13
PLESKACH Valentyna, KRYVOLAPOV Yaroslav, KRYVOLAPOV Hlib The use of drones in transport infrastructure	23
VOROCH Alyona, KRAVCHENKO Olha, SYVOHLAZ Dmytro The architecture of the IoT ecosystem of the rehabilitation center for the restoration of the musculoskeletal system	27
TKACHENKO Olha, GOLUBENKO Oleksandr Optimization of multi-request single-processor computing.....	32
STAROVOYT Tania, ZAYCHENKO Yuriy A hybrid quantum-perfected model of artificial intelligence in the problem of automatic recognition and fast conversion of unstructured text information into spatial	38
ZHELDAK Timur, ZIBOROV Ilya The structure and functions of the integrated DSS in the multi-stage rolling production management processes.....	49

Network and internet technologies

DUDNIK Andriy, TRUSH Oleksandr, LESHCHENKO Olga, DAKHNO Natalia The method of distance measurement in wireless sensor networks by means of a microprocessor frequency meter	58
PLIUSHCH Oleksandr, BOLSHAKOV Andrii Computer simulation model of signal propagation processes in coaxial cable	64
PLIUSHCH Oleksandr, KRAVCHENKO Yurii, TRUSH Oleksandr Recurrent algorithm of telecommunication systems and networks design.....	73

Information analytics and data analytics

HNATIENKO Hryhorii, ILARIONOV Oleh, TMIENOVA Nataliia Modeling of the Ukrainian scientific space based on the analysis of data on the defense of dissertations.....	80
---	----

Digital technologies of IT project management

GLADKA Myroslava, KUCHANSKY Alexander, LISNEVSKYI Rostyslav Formation of the IT project team based on the competence characteristics of the staff	88
INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	98



ПРИКЛАДНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ



Андрій ХЛЕВНИЙ, канд. техн. наук, асист.
ORCID ID: 0000-0001-8942-6670
e-mail: andrii.khlevnyi@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Юлія ХЛЕВНА, д-р техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-1874-1961
e-mail: yuliia.khlevna@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Лілія КАШАПОВА, магістрантка
e-mail: liliya.kashapova@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОЄКТУ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Вступ. *Управління проєктами електронної комерції, які націлені на індивідуальні замовлення, набуває все більшої цінності. Це пов'язано з трансформацією ведення бізнесу й вимогами споживачів. Результати аналізу літературних джерел дозволили встановити невирішеність питання поєднання проєктного підходу та засобів електронної комерції. Зазначено, що для раціонального поєднання доречно сформувані інструменти управління проєктами та засоби електронної комерції (платформи, дизайн, аналітика тощо), які задовольняють умови проєкту, та моделі ведення бізнесу у мережі.*

Методи. *Запропоновано два етапи відбору інструментів для онлайн-проєктів персоналізованих замовлень. В основі першого етапу відбору інструментів – експертні методи. Експертами виступають спеціалісти ІТ та виробництва. Наступним етапом аналізу інструментів, які будуть своєчасними та забезпечать конкурентоздатність проєкту в умовах електронної комерції, є опрацювання статистичної інформації проєкту, яку пропонується відбирати з бази даних і бази знань проєкту.*

Результати. *Представлено тріаду знань у розробленні онлайн-проєкту персоналізованих замовлень; концептуальну модель управління проєктами електронної комерції, націлених на індивідуальні замовлення. В основі такої моделі є інформаційна аналітика інформаційного простору проєкту. Наведено приклад застосування представленої концепції в онлайн-проєктах персоналізованих замовлень кондитерської сфери.*

Висновки. *Впровадження концептуальної моделі дозволить підвищити ефективність реалізації проєктів створення малого бізнесу або розвитку вже існуючого.*

Ключові слова: *проєкти електронної комерції, методологія управління проєктами, інструменти, інформаційний простір, експертний метод.*

Вступ

Ринок товарів і послуг відображає тенденції до фокусування на якості товару або послуги через підвищення вимог покупців. Великі компанії вимушені змінювати стратегії через сприйняття покупцями "чорних" підходів обману, що негативно відображається на репутації компанії.

На ринку за останні роки спостерігають зростання малого бізнесу, який націлено на задоволення індивідуальних потреб споживачів, на інновації, у розрізі як нового товару чи послуги, так і з позиції нового методу управління. Такий підхід закономірно впливає з вимоги ринку до пізнаваності продукту серед покупців. З метою зайняття стійких позицій на ринку необхідно застосувати передові технології для забезпечення найвищої якості й ефективного позиціонування. В умовах зростання електронної комерції розповсюдження товарів і послуг, отримання статистичної інформації про споживачів (замовників), їхнє вподобання вбачається набагато легшим.

Локальні бізнеси через інтернет-глобалізацію та підвищення довіри клієнтів до сфери електронної комерції мають необмежені можливості для просування своїх товарів, послуг та автоматизації приймання замовлень на унікальні вироби.

Значна кількість іноземних компаній трансформувала свої проєкти в мережу, відмовившись від багатьох традиційних методів (Chen, Hui & Seong, 2012).

В Україні електронна торгівля продовжує зростати з кожним роком, зокрема, за 2020 рік ринок електронної комерції виріс на 25 % (Векмурзаєв & Спанов, 2017; Громадське..., 2020) відносно прибутків і тривалості сеансів. Причому ринок характеризується дуже специфічною особливістю – найпопулярнішими вебсайтами є суто віртуальні платформи, а не існуючі торговельні магазини. За даними (Статистична..., 2020) встановлено, що питома вага інтернет-торгівлі у роздрібній торгівлі продовжує щороку зростати (табл. 1).

Таблиця 1

Обсяги інтернет-торгівлі та роздрібної торгівлі в Україні у 2016–2020 роках

Показник	2016	2017	2018	2019	2020
Обсяг інтернет-торгівлі, млрд грн	2,5	3,2	4,1	5,8	8
Темп зростання інтернет-торгівлі до попереднього року, %	–	128	128,13	141,46	137,93
Обсяг роздрібної торгівлі, млрд грн.	420	485	552	686	772
Темп зростання роздрібної торгівлі до попереднього року, %	–	115,48	113,81	124,28	112,54
Питома вага інтернет-торгівлі в обсягах роздрібної, %	0,6	0,66	0,74	0,85	1,04

Однак на ринку малого бізнесу "розумні" вебсайти компаній, що дозволяли б максимально прискорити оброблення замовлень клієнтів і використовувати накопичену статистику сайтів, є рідкістю. Це пов'язано, зазвичай, з додатковими

© Хлевний Андрій, Хлевна Юлія, Кашапова Лілія, 2023



витратами. Вебсайти не містять конструкторів, рекомендацій, а стейкхолдери стикаються з процедурою довгих телефонних взаємодій. Управління стає малофункціональним без явного інформаційного простору проєктів малого бізнесу в умовах електронної комерції.

Отже, функціонування проєктів в умовах електронної комерції набуває все більшої цінності, що пов'язано з трансформацією процесів ведення бізнесу.

Доцільно пропонувати підхід до розроблення проєкту створення малого бізнесу, який націлено на індивідуальні замовлення в мережі, а також дослідити його функціональність. Основою підходу має стати інформаційна аналітика – вивчення особливостей методологій управління проєктами, технологічних процесів виробництва та можливостей засобів електронної комерції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання планування й управління проєктами досить детально висвітлено у наукових літературних джерелах. Перспективи змін та переосмислення ведення бізнесу з використанням засобів електронної комерції досліджено у роботах (Aranha, Garcia, & Correa, 2015; Mell, & Grance, 2011; Mann, Eckert, & Knight, 2000; Rappa, 2017; Brousseau, & Penard, 2006; TradeMaster, 2020; Зміни в поведінці споживачів, 2020).

У статті (Aranha, Garcia, & Correa, 2015), на прикладі онлайн-компаній, наочно продемонстровано інтеграцію популярних B2B і B2C напрямків продажів в електронній комерції, з розглядом і аналізом стратегії та інструментів повного або часткового переходу на інтернет-торгівлю. Продовжено удосконалення зазначених напрямків у роботі (Mell, & Grance, 2011), у якій представлено засоби електронної комерції як додаткову цінність для бізнесу.

У статті (Mann, Eckert, & Knight, 2000) встановлено, що особливості функціонування інтернет-проєктів вимагають істотної зміни і переосмислення традиційних методів ведення бізнесу, які раніше застосовувались компаніями.

Відповідно проблеми вивчення нових моделей управління проєктами в електронній комерції стають все більш популярними й актуальними.

Дослідження моделей електронної комерції відображено у роботі (Rappa, 2017). Автором запропоновано класифікацію проєктів в електронній комерції у вигляді 41 моделі ведення інтернет-бізнесу. Із запропонованих моделей малий бізнес, в основі якого виробництво та продаж, можна віднести як до моделі "виробників", де інтернет використовують як додатковий інструмент роботи з покупцями з метою прямого контакту з ними, а також до моделі "продавців", в основі якої є віртуальний магазин. Проте залишається відкритим питання реалізації нових моделей ведення проєктів у електронній комерції. Такими проєктами, наприклад, є персоналізовані замовлення. Водночас, у роботі (Brousseau, & Penard, 2006) визначено, що реалізуючи нову модель ведення бізнесу, компанії необхідно так перетворити існуючий бізнес, щоб урахувати переваги традиційних схем роботи – моделей управління проєктами – та обрати інструменти електронного ведення бізнесу і розвивати їх. Теоретичні та практичні основи управління проєктами в інтернет-комерції подано у роботі (TradeMaster, 2020). Проте у цій роботі не висвітлено роль та алгоритм відбору інструментів у процесі управління проєктами інтернет-комерції.

Результати представлених досліджень вказують на відкритість питання поєднання проєктного підходу та засобів електронної комерції. Тому доцільно досліджувати застосування моделей, методів управління проєктами у процесах електронної комерції, які націлені на індивідуальні замовлення. Зазначене є цінним і для малого бізнесу, і для компаній-гігантів, які здатні керувати портфелями проєктів. Це пов'язано з тим, що знання з управління проєктами є одним з елементів виведення інтернет-бізнесу на вищий рівень технологічної зрілості. Раціональне поєднання методів електронної комерції та методів управління проєктами сприятиме підвищенню функціональності та конкурентоздатності компанії.

Мета дослідження. Метою дослідження є розроблення концепції функціонування проєктів електронної комерції, націлених на індивідуальні замовлення. В основі такої моделі міститься інформаційна аналітика інформаційного простору проєкту.

Методи

У роботі запропоновано використовувати методи синтезу й аналізу, концептуального аналізу й управління складними системами.

Функціонування проєкту, який націлений на індивідуальні замовлення у мережі, передбачає розв'язання проблем технічного й організаційно-економічного характеру.

Зазвичай у проєкті ці проблеми розглядають загалом. Наприклад, необхідність наявності команди технічних фахівців, які здійснюватимуть розроблення, тестування і технічну підтримку виробничого проєкту в умовах електронної комерції, є основою нової організаційної структури на етапі планування проєкту.

Загалом розроблення функціонального проєкту передбачає проведення бізнес-аналізу, вибір платформи, розроблення дизайну, відбір організаційних, технічних і методологічних інструментів управління проєктами електронної комерції тощо.

Оскільки інтернет-торгівля трансформується, доцільно, плануючи проєкт, використовувати інструменти, які будуть своєчасними та забезпечать конкурентоздатність проєкту в умовах електронної комерції.

Для ефективного розв'язання задач у проєктах комерції онлайн важливо правильно підібрати методологію управління. У процесі розроблення сайту проєкту доцільно використовувати гнучкі методології на протязі виробничим галузям, де можуть застосовувати як традиційні, так і гнучкі методології.

Для управління проєктами продажу унікальних продуктів на замовлення через вебсайт варто формувати конкретизовану методологію управління проєктом (КМУП) (Tesla et al., 2018).

Запропоновано за доцільне здійснювати вибір інструментів з огляду на аналітику інтернет-продажів, зокрема з конверсії, що виконується сайтом, під якою розуміють відношення кількості покупок на сайті до кількості його відвідувачів і кількості відвідувань (Wendy, & Peter, 2004; Stibel, 2005; Viljamaa, Dumas, & Nöges, 2018; Jacobson, 2019; Egel, & Joseph, 2012):

$$p_r(I_k) > p_r(\bar{I}_k), \quad (1)$$

де $p_r(I_k)$ – імовірність отримати вищий відсоток конверсії у разі використання інструменту (I_k);

$p_r(\bar{I}_k)$ – імовірність отримати нижчий відсоток конверсії без використання інструменту (I_k).

З метою визначення інструментів, що найбільше впливають на конверсію, з урахуванням дослідження конкурентів запропоновано два етапи.

Етап I. В основу першого етапу покладемо експертне оцінювання інструментів ІТ та виробництва (Гнатієнко, & Снитюк, 2008; Самохвалов, & Науменко, 2017; O'Hagan, 2018; Meyer, & Booker, 2001). Експертами виступали представники як ІТ-сфери, так і предметної сфери реалізації проєкту з метою підвищення точності оцінювання.

Для експертів з ІТ-сфери виокремлено такі специфічні для сфери інструменти як (Breeze; Schaper; Dahal, 2011; Nielsen, a; Nielsen, b; Nielsen, c: дизайн, контент, швидкість завантаження і стабільна робота ресурсу, зручність сайту у використанні, спонукання до дії, дублювання контактних даних на всіх сторінках сайту, розташування важливих елементів угорі, релевантність і зрозумілість інформації. Для експертів предметної сфери необхідно виділяти інструменти, пов'язані з продуктом проєкту.

Зазвичай на початкових етапах не доцільно ставити високі вимоги до інтеграції сайту з CRM, системами контролю товарів і з фінансовими програмами, оскільки на початкових етапах відсутня статистика клієнтів, продажів, потреб.

Етап II. Наступним етапом аналізу інструментів, які будуть своєчасними та забезпечать конкурентоздатність проєкту в умовах електронної комерції, є опрацювання статистичної інформації проєкту, яку пропонують відбирати з бази даних і бази знань проєкту, інформаційне наповнення яких запропоновано створювати на базі [Кашапова, & Хлевний, 2021]:

- інформації щодо замовлень;
- системи управління інформацією;
- інформаційних технологій управління проєктом (планування, бюджетування тощо).

Схему формування бази даних і бази знань проєктів індивідуальних замовлень зображено на рис. 1.

Тут передбачено розмежуваність доступу до інформації бази даних і знань відповідно до повноважень. Явною перевагою використання такого підходу є те, що стейкхолдери мають можливість у режимі реального часу відслідковувати замовлення; команда проєкту може фіксувати планові показники проєкту та порівнювати з фактичними показниками, контролювати завантаження ресурсів, витрат, визначати слабкі місця, моделювати хід майбутніх робіт зі врахуванням зовнішніх і внутрішніх впливів на проєкт.



Рис. 1. Схема формування бази даних і бази знань інформаційного простору проєкту

Для ефективного ведення онлайн-бізнесу необхідно правильно аналізувати дані, які генеруються у процесі діяльності. Накопичену клієнтську базу запропоновано кластеризувати. Кластеризація потрібна для планування стратегії розвитку підприємства, оптимізації процесів і збільшення прибутків, для чого запропоновано використати RFM-аналіз – сегментацію клієнтів у аналізі збуту за лояльністю, яка визначає три групи: Recency (давність) – давність угоди, Frequency (частота) – кількість транзакцій, Monetary Value (грошова цінність) – сума угод.

Запропоновано для кластеризації використати метод k найближчих сусідів: створити математичну модель для кластеризації наявних і майбутніх клієнтів.

Взаємозв'язок моделей і методів управління проєктами з процесами електронної комерції у проєктах персоналізованих онлайн-замовлень запропоновано розглядати з позиції тріади знань (рис. 2).

Концептуальну модель управління проєктом створення онлайн-бізнесу персоналізованих замовлень, яка заснована на інформаційній аналітиці інформаційного простору проєкту, зображено на рис. 3. Запропонована модель містить не тільки процеси структуризації життєвого циклу, календарного плану робіт проєкту й організаційної структури, але й базується на інформаційній аналітиці – вивченні особливостей методологій управління проєктами, технологічних процесів виробництва та засобів електронної комерції (рис. 2 та 3).

Наслідком аналізу даних із тріади знань є рекомендації щодо покращення виробництва та роботи сайту, а для потенційних споживачів – рекомендації щодо асортименту, ціни тощо.

Відповідно оцінку рекомендацій можна здійснювати за реакцією проєкту – конверсією сайту – кількістю здійснених покупок.

Результати

Прикладом реалізації представленої концепції на практиці стала кондитерська сфера. Вона характеризується високим рівнем конкуренції на ринку: через активний розвиток компаній-лідерів на ринку більша частина невеликих компаній перейшла на виробництво елітної продукції для формування конкурентної переваги. Оскільки продукція невеликих пекарень дорожча за продукцію заводів, у великих містах дозволити собі подібну продукцію на постійній основі може лише 0,5–1 % населення, водночас невеликі пекарні та пекарні-кафе на кондитерському ринку контро-



люють приблизно 5–10 %, що відображає тренд до популяризації унікальності продуктів споживання (Юридичний супермаркет, 2020; Pro Capital Group, 2020). В умовах пандемії на продуктовому ринку України набули популярності продажі онлайн. Зазначимо, що купівля продуктів онлайн характеризується стабільним ростом витрат на преміальні продукти. Щодо продуктів кондитерської галузі, то це пояснюється ще й тим, що єдиним товаром, ціна якого перевищує його доставку, є торт, зроблений на замовлення. Тістечка, хлібобулочні вироби та вироби з шоколаду на замовлення не користуються достатнім попитом у продажу онлайн. Тому перспективним є застосування відкритих інновацій [Tanaka, 2010; Rach et al., 2019].

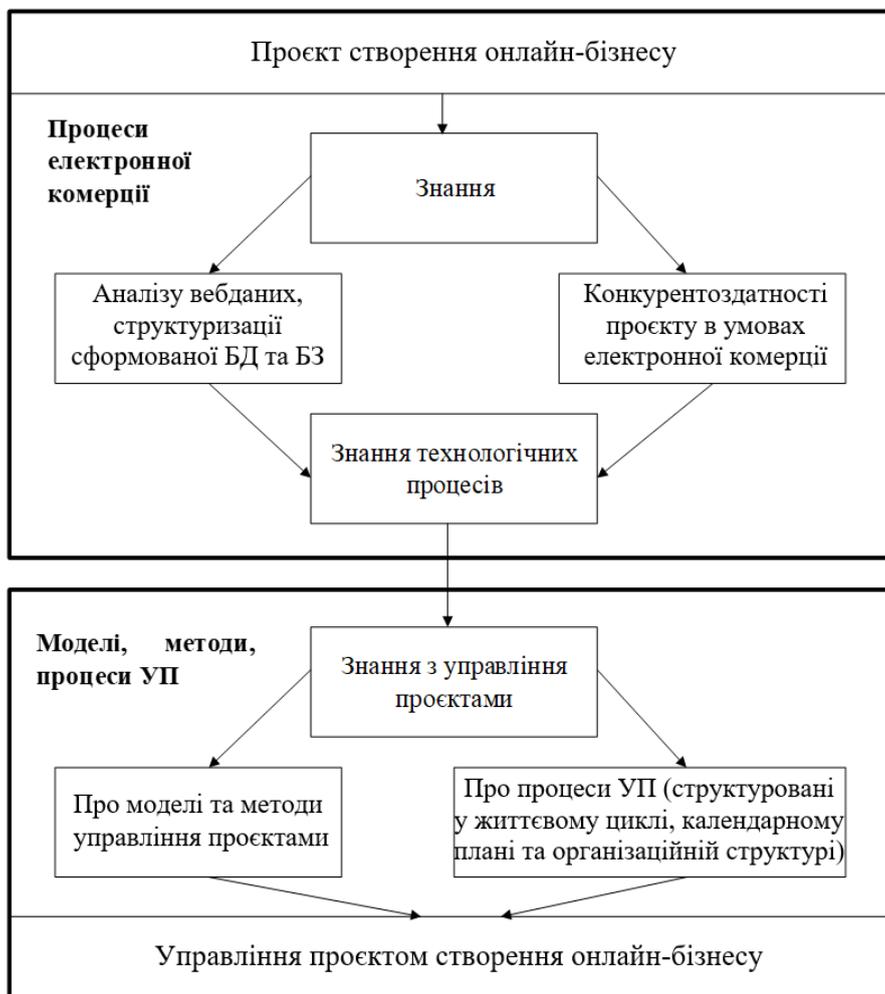


Рис. 2. Тріада знань у розробленні онлайн-проєкту персоналізованих замовлень

Впровадження концептуальної моделі функціонування проєкту електронної комерції включало таке.

1. Застосування проєктного підходу у виробництві, а саме: формалізація життєвого циклу проєкту, розроблення організаційної структури та календарного плану робіт проєкту.

2. Запровадження інноваційного підходу компанії у вигляді електронної комерції, а саме:

- підбір ключових інструментів конкурентоздатності проєкту з позиції виробництва та специфічних інструментів ІТ на основі аналізу конкурентів та експертних методів;
- формування бази даних проєкту онлайн-бізнесу з продажу тортів на замовлення, що стало основою моніторингу проєкту та формування його інформаційного стандарту в розрізі інновацій у проєкті;
- системна аналітика статистичної інформації проєкту, яку пропонується відбирати з бази даних і бази знань проєкту;
- запровадження моделі формування рекомендацій виробництву, команді проєкту та потенційним споживачам щодо проєкту онлайн-продажу тортів на замовлення на базі аналітичної інформації за проєктом.

Впровадження елементів запропонованої концепції у роботу невеликої пекарні дозволило знизити витрати, внаслідок застосування проєктного підходу до розроблення нових позицій асортименту кондитерської та забезпечення методологічними рекомендаціями щодо аналізу ринку. На практиці це відобразилось у зростанні трафіку на сайті, а саме в категорії тортів для дітей, для якої було створено найбільше нових позицій асортименту.

Рішення, прийняті на основі запровадженої концепції дозволяють забезпечити функціональність проєкту у розрізі: прозорості процесів управління проєктами та компанією в цілому; організації єдиного інформаційного середовища управління.

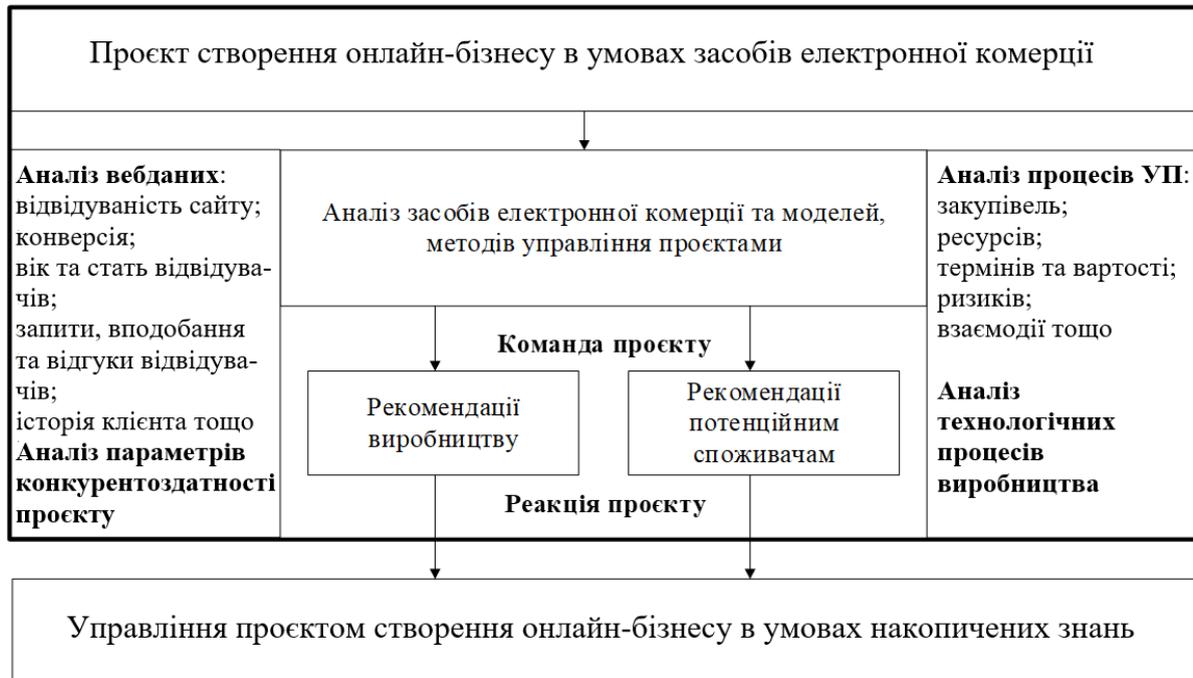


Рис. 3. Концептуальна модель функціонування проекту електронної комерції (персоналізовані замовлення)

Висновки

Проаналізовано перспективи поєднання проектного підходу та засобів електронної комерції в умовах трансформації бізнесу. Представлено роль знань в управлінні проектом створення онлайн-бізнесу. Розроблено концептуальну модель функціонування проекту електронної комерції персоналізованих замовлень, яка базується на інформаційній аналітиці інформаційного простору проекту. Наведено приклад застосування концепції у кондитерській сфері.

Внесок авторів: Андрій Хлевний – огляд літературних джерел; Юлія Хлевна – розроблення методів і методології дослідження, опис результатів і написання висновків; Лілія Кашапова – збір емпіричних даних і проведення емпіричних досліджень.

Список використаних джерел

- Гнатієнко, Г. М., & Снитюк, В. Є. (2008). Експертні технології прийняття рішень. ТОВ Маклаут. Громадське Телебачення. (2020). Як карантин і коронавірус змінили малий і середній бізнес. <https://hromadske.ua/ru/posts/kak-karantin-i-koronavirus-izmenili-malyj-i-srednij-biznes>
- Кашапова, Л. Р., & Хлевний, А. О. (2021). Застосування проектного підходу до створення бізнесу з продажу тортів на замовлення. Наук. пр. III Міжнар. наук.-практ. конф. "Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій", 25–26 січня 2021 р. (с. 92–95). Національний університет харчових технологій.
- Самохвалов, Ю. Я., & Науменко, Е. М. (2017). Експертне оцінювання. Методичний аспект. Видавництво ДУІКТ.
- Статистична інформація Державної служби статистики України (2020). Обсяг роздрібного товарообігу підприємств. <http://www.ukrstat.gov.ua>
- Юридичний супермаркет. Як відкрити бізнес з випічки тортів (2003–2020). https://www.juridicheskij-supermarket.ua/page_pravo-startap-kak-otkryt/20biznes-po-vyrechke-tortov-na-zakaz.html
- Aranha, A., Garcia, E. P., & Correa, N. A. (2015). Open Innovation and Business Model: A Brazilian company case study. *Journal of Technology Management & Innovation*, 4(10), 91–98.
- Bekmurzayev, B., & Spanov, M. (2017). Theoretical and practical basics of project management in internet-commerce. *Central Asian Economic Review*, 118(5-6), 72–82.
- Breeze, J. Eye tracking: best way to test rich app usability. *UX Magazine*. <https://uxmag.com/articles/eye-tracking-the-best-way-to-test-rich-app-usability>
- Brousseau, E., & Penard, T. (2006). The economics of digital business models: A framework for analyzing the economics of platforms. *Review of Network Economics*, 2(6), 81–110.
- Chen, Y., Hui D., & Seong, J. (2012). Click by click: How consumers are changing China's e-commerce landscape. *Consumer and Shopper Insights*. McKinsey & Company.
- Dahal, S. (2011). Eyes don't lie: Understand User's first impression on website design using eye tracking. Missouri University of Science and Technology. https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/5128?utm_source=scholarsmine.mst.edu%2Fmasters_theses%2F5128&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Egelin, L. S., & Joseph, J. (2012). A. Shopping Cart Abandonment in Online Shopping. *Atlantic Marketing Journal*, 1(1). <https://digitalcommons.kennesaw.edu/amj/vol1/iss1/1/>
- Jacobson, A. (2019). Click-to-call conversion measurement based on transcribing conversation. *Technical Disclosure Common*. https://www.tdcommons.org/dpubs_series/1937
- Mann, C. L., Eckert, S. E., & Knight, S. C. (2000). *Global Electronic Commerce: A Policy Primer*. Washington: Institute for International Economics.
- Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*. U.S. Department of Commerce. Special Publication.
- Meyer, M. A., & Booker, J. M. (2001). *Eliciting and Analyzing Expert Judgement: A practical Guide*. London: Academic Press.
- Nielsen, J. 10 Usability heuristics for user interface design. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
- Nielsen, J. F-Shaped pattern for reading Web content. Nielsen Norman Group. <http://www.nngroup.com/articles/f-shaped-pattern-reading-web-content>
- Nielsen, J. Usability 101: introduction to usability. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>
- O'Hagan, A. (2018). Expert Knowledge Elicitation: Subjective but Scientific. *The American Statistician*, 1(73). <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00031305.2018.1518265>
- Pro Capital Group. (2004–2020). Ринок кондитерських виробів України: коли потовщати в радість. <https://pro-consulting.ua/pressroom/rynok-konditerskih-izdelij-ukrainy-kogda-potolstenie-v-radost>



- Rach, V., Rossoshanska, O., Medvedieva, O., & Yevdokymova, A. (2019). System modeling of development of innovative project-oriented enterprises. *Marketing and Management of Innovation* (p. 105–131). doi:10.21272/mmi.2019.1-09.
- Rappa, M. Business model on the Web. (2017). <http://www.digitalenterprise.org/models/models.html>
- Schaper P. How to evaluate a website and its effectiveness. *Digital marketing*. <http://blogs.brighton.ac.uk/paulaschaper/2017/11/26/pro-tip-how-to-evaluate-a-website-and-its-effectiveness/>
- Stibel, J. M. (2005). Mental models and online consumer behavior. *Behaviour & Information Technology*, 2(24), 147–150. <https://www.tandfonline.com/toc/tbit20/24/2>
- Tanaka, Kh. (2010). An emerging wave to expand the national industrial competitiveness using open innovation and being supported by meta program management. *Proceedings of Scientific Project and Program Management Conference*. Kyiv. Ukrainian Project Management Association.
- Teslia, I., Yehorchenkov, O., Khlevna, I., & Khlevnyi, A. (2018). Development of the concept and method of building of specified project management methodologies. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 5/3(95), 6–16. doi:10.15587/1729-4061.2018.142707.
- TradeMaster (2020). Ринок FMCG 2020: Зміни в поведінці споживачів. https://trademaster.ua/ryinki_food/313215
- Viljamaa, O., Dumas, M., & Nöges, M. (2018). Measuring the Effect of User-Perceived Load Metrics on Conversion Rate in the Context of TransferWise: Bachelor's Thesis. University of Tartu. <https://core.ac.uk/download/pdf/237084726.pdf>
- Wendy, W. M., & Peter S. F. (2004). Fader Dynamic Conversion Behavior at E-Commerce Sites. *Management Science*, 3(50), 326–335.

References

- Aranha, A., Garcia, E. P., & Correa, N. A. (2015). Open Innovation and Business Model: A Brazilian company case study. *Journal of Technology Management & Innovation*, 4(10), 91–98.
- Bekmurzayev, B., & Spanov, M. (2017). Theoretical and practical basics of project management in internet-commerce. *Central Asian Economic Review*, 118(5-6), 72–82.
- Breeze, J. Eye tracking: best way to test rich app usability. *UX Magazine*. <https://uxmag.com/articles/eye-tracking-the-best-way-to-test-rich-app-usability>
- Brousseau, E., & Penard, T. (2006). The economics of digital business models: A framework for analyzing the economics of platforms. *Review of Network Economics*, 2(6), 81–110.
- Chen, Y., Hui D., & Seong, J. (2012). Click by click: How consumers are changing China's e-commerce landscape. *Consumer and Shopper Insights*. McKinsey & Company.
- Dahal, S. (2011). Eyes don't lie: Understand User's first impression on website design using eye tracking. *Missouri University of Science and Technology*. https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/5128?utm_source=scholarsmine.mst.edu%2Fmasters_theses%2F5128&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Egeln, L. S., & Joseph, J. (2012). A. Shopping Cart Abandonment in Online Shopping. *Atlantic Marketing Journal*, 1(1). <https://digitalcommons.kennesaw.edu/amj/vol1/iss1/1/>
- Gnatienko, G., & Snytyuk, V. (2008). Expert technologies of decision making. Publishing House Maklout [in Ukrainian].
- Jacobson, A. (2019). Click-to-call conversion measurement based on transcribing conversation. *Technical Disclosure Common*. https://www.tdcommons.org/dpubs_series/1937
- Judicial Supermarket. How to Open Cakes Baking Business. (2003–2020). https://www.juridicheskij-supermarket.ua/page_pravo-startap-kak-otkryt%20biznes-po-vypechke-tortov-na-zakaz.html [in Ukrainian].
- Kashapova, L., & Khlevna, A. O. (2021). Use of project approach to creation of business on cakes on-order sales. *Proceedings of International Scientific Conference "Current Trends in Information systems and telecommunication technologies"*, 25–26 January 2021. (p. 92–95). National University of Food Technologies [in Ukrainian].
- Mann, C. L., Eckert, S. E., & Knight, S. C. (2000). *Global Electronic Commerce: A Policy Primer*. Washington: Institute for International Economics.
- Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*. U.S. Department of Commerce. Special Publication.
- Meyer, M. A., & Booker, J. M. (2001). *Eliciting and Analyzing Expert Judgement: A practical Guide*. London: Academic Press.
- Nielsen, J. 10 Usability heuristics for user interface design. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
- Nielsen, J. F-Shaped pattern for reading Web content. Nielsen Norman Group. <http://www.nngroup.com/articles/f-shaped-pattern-reading-web-content>
- Nielsen, J. Usability 101: introduction to usability. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>
- O'Hagan, A. (2018). Expert Knowledge Elicitation: Subjective but Scientific. *The American Statistician*, 1(73). <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00031305.2018.1518265>
- Pro Capital Group. (2004–2020). Confectionary Market in Ukraine: When is Pleasant to Gain Weight. <https://pro-consulting.ua/pressroom/ryнок-konditerskih/-izdelij-ukrainy-kogda-potolstenie-v-radost> [in Ukrainian].
- Public Television. (2020). How quarantine and Coronavirus have changed small and medium business. <https://hromadske.ua/ru/posts/kak-karantin-i-koronavirus-izmenili-malyj-i-srednij-biznes> [in Ukrainian].
- Rach, V., Rossoshanska, O., Medvedieva, O., & Yevdokymova, A. (2019). System modeling of development of innovative project-oriented enterprises. *Marketing and Management of Innovation* (p. 105–131). doi:10.21272/mmi.2019.1-09.
- Rappa, M. Business model on the Web. (2017). <http://www.digitalenterprise.org/models/models.html>
- Samochvalov, Yu. Naumenko, E. (2017). Expert assessment. Methodical aspect. Publishing House DUIKT [in Ukrainian].
- Schaper P. How to evaluate a website and its effectiveness. *Digital marketing*. <http://blogs.brighton.ac.uk/paulaschaper/2017/11/26/pro-tip-how-to-evaluate-a-website-and-its-effectiveness/>
- Statistical Information of the State Service of Statistics of Ukraine. (2020). The volume of retail trade of the companies. <http://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
- Stibel, J. M. (2005). Mental models and online consumer behavior. *Behaviour & Information Technology*, 2(24), 147–150. <https://www.tandfonline.com/toc/tbit20/24/2>
- Tanaka, Kh. (2010). An emerging wave to expand the national industrial competitiveness using open innovation and being supported by meta program management. *Proceedings of Scientific Project and Program Management Conference*. Kyiv. Ukrainian Project Management Association.
- Teslia, I., Yehorchenkov, O., Khlevna, I., & Khlevnyi, A. (2018). Development of the concept and method of building of specified project management methodologies. *Eastern-European Journal of Advanced Technologies*, 5/3(95), 6–16. doi:10.15587/1729-4061.2018.142707.
- TradeMaster (2020). Market FMCG 2020: Changes in consumers' behavior. https://trademaster.ua/ryinki_food/313215 [in Ukrainian].
- Viljamaa, O., Dumas, M., & Nöges, M. (2018). Measuring the Effect of User-Perceived Load Metrics on Conversion Rate in the Context of TransferWise: Bachelor's Thesis. University of Tartu. <https://core.ac.uk/download/pdf/237084726.pdf>
- Wendy, W. M., & Peter S. (2004). Fader Dynamic Conversion Behavior at E-Commerce Sites. *Management Science*, 3(50), 326–335.

Отримано редакцією журналу / Received: 04.12.22
Прорецензовано / Revised: 03.01.23
Схвалено до друку / Accepted: 10.01.23



Andrii KHLEVNYI, PhD (Engin.)
ORCID ID: 0000-0001-8942-6670
e-mail: andrii.khlevnyi@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Iuliia KHLEVNA, DSc (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-1874-1961
e-mail: yuliia.khlevna@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Liliia KASHAPOVA, Master's Student
e-mail: liliya.kashapova@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

A CONCEPTUAL MODEL OF FUNCTIONING OF E-COMMERCE PROJECT

B a c k g r o u n d . *Management of e-commerce projects, which is aimed at individual orders, is gaining more and more value. This is due to the transformation of business and consumer demands. The results of the analysis of literary sources made it possible to establish the openness of the issue of combining the project approach and electronic commerce tools. It has been established that for a rational combination it is appropriate to form project management tools and e-commerce tools (platforms, design, analytics, etc.) that satisfy the project conditions and business models in the network.*

M e t h o d s . *Two stages of selection of tools for online projects of personalized orders are proposed. Expert methods are the basis of the first stage of tool selection. Experts are IT and production specialists. The next stage of the analysis of tools that will be timely and ensure the competitiveness of the project in the conditions of electronic commerce is the processing of statistical information of the project, which is proposed to be selected from the database and knowledge base of the project.*

R e s u l t s . *The triad of knowledge in the development of an online project of personalized orders is presented; a conceptual model of e-commerce project management aimed at individual orders. This model is based on information analytics of the information space of the project. The work presents an example of the application of the presented concept in online projects of personalized orders in the confectionery sector.*

C o n c l u s i o n s . *The implementation of the conceptual model will increase the effectiveness of the implementation of small business creation projects or the development of existing ones.*

K e y w o r d s : *e-commerce projects, project management methodology, tools, information space, expert method.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



ЕЛЕМЕНТИ НЕЙРОМЕРЕЖНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ СТАВЛЕННЯ КОРИСТУВАЧІВ МЕРЕЖІ "ТВІТЕР" ДО БРЕНДІВ

Вступ. *Висвітлено проблему ефективної організації збору й аналізу інформації про ставлення користувачів мережі "Твітер" до брендів у формі програмного застосунку. Розглянуто проблеми дослідження сучасних засобів збору й аналізу інформації; визначення функціоналу, який має реалізовувати застосунок; аналізу архітектурних рішень і вибору програмних засобів, необхідних для його реалізації.*

Методи. *У процесі досліджень застосовано теорію маркетингу у сфері збору інформації про висновки споживачів, досліджено методи аналізу інформації з метою класифікації настрою споживачів, емпіричний аналіз і синтез архітектур, що застосовувалися у створенні й порівнянні моделей нейронних мереж для класифікації тексту, розроблення та побудови власної моделі для класифікації.*

Результати. *У межах задачі програмної реалізації аналізу тексту твітів досліджено архітектуру згорткових і рекурентних нейронних мереж, здійснено порівняння різних значень гіперпараметрів нейронних мереж, зокрема і функцій активації, функцій втрат, кількості епох навчання, кількості шарів мережі, виконано порівняння різних Python-бібліотек для оброблення природної мови в контексті оцінювання твітів.*

Висновки. *Практичне значення дослідження полягає у створенні програмного засобу для ефективного аналізу ставлення користувачів мережі "Твітер" до брендів, який може слугувати для підвищення ефективності маркетингової діяльності брендів.*

Ключові слова: *твітер, аналіз інформації, класифікація тексту, сентиментальний аналіз, нейронні мережі, програмний застосунок, бібліотеки Python.*

Вступ

Важливим аспектом у виборі маркетингової стратегії для брендів виступають настрої їхніх споживачів. Сфера збору інформації про сприйняття бренду охоплює паперові чи онлайн-огляди продукту, спілкування із службами підтримки компаній, спілкування з іншими потенційними споживачами, зацікавленість щодо придбання пробних версій продуктів і реакція на рекламу, вислови у соціальних мережах. Кожне із цих джерел допомагає проаналізувати сприйняття бренду в суспільстві, що в подальшому може впливати на успіх компаній у разі використання відповідних маркетингових стратегій.

Сприйняття бренду й досвід формують його репутацію. Компанія з гарною репутацією бренду приваблює лояльних клієнтів, які обирають продукт або послугу серед конкурентів.

Методи

Для оцінювання сприйняття бренду використовують такі методи (Kirsch, 2023):

- проведення опитувань щодо сприйняття бренду, думки про нього та його протистояння конкурентам. Постановка запитань, які стосуються емоційних, когнітивних і орієнтованих на дії факторів;

- відстеження згадувань бренду в інтернеті за допомогою соціальних інструментів прослуховування. Такі згадування бувають представлені у коментарях у соціальних мережах, онлайн-оглядах, відповідних хештегах, форумах і згадках у новинах. Мірою зростання бренду ростиме і цей набір даних;

- аудит бренду для оцінювання сприйняття бренду порівняно із сприйняттям конкурентів. Він має включати дослідження первинної та вторинної цільової аудиторії, конкурентний аналіз продуктів або послуг, ретельну оцінку комунікаційної стратегії та глибоке занурення в позиціонування бренду;

- збір даних від клієнтів у кожній точці шляху покупця. Може містити дані про те, як покупці досліджують інформацію, оцінюють продукти, порівнюють між конкурентами, взаємодіють зі службою підтримки клієнтів, приймають рішення про покупку, підключаються та взаємодіють із брендом після покупки.

Із зростанням популярності бренду зростає і обсяг інформації, що підлягає обробленню в задачі аналізу споживачів до нього. Тому збільшенню ефективності аналізу сприятиме його автоматизація, яка широко представлена у вигляді онлайн-сервісів. Їхнє використання дозволяє повністю охоплювати споживачів продукту або послуги, знаходити потенціальних споживачів та ефективно оцінювати їхні настрої. Такі програмні продукти спрямовані на економію часу працівників і збільшення капіталу брендів.

На ринку наявні продукти для виконання зазначених вище завдань. Згідно з відгуками користувачів представлені продукти не завжди задовольняють їхні потреби. Тож постає проблема створення продукту, який би враховував необхідні метрики для аналізу ставлення користувачів до брендів, забезпечував високий відсоток покриття інформаційних джерел і відображав реальну ситуацію, щоб давати змогу здійснювати ефективний маркетинг для бізнесів. Метою цього дослідження є реалізація ефективної організації збору й аналізу інформації про ставлення користувачів соціальної мережі "Твітер" до брендів у формі програмного застосунку.

© Жуланова Ольга, Ващіліна Олена, 2023



Особливості предметної області й робота з ними в задачі класифікації тексту. В задачі аналізу сприйняття бренду через збір інформації у соціальних мережах необхідно враховувати особливості цільових медіа. До них належать:

- характеристики цільової аудиторії соціальної мережі;
- тематика ресурсу;
- технічні та функціональні особливості ресурсу;
- представлені засоби висловлення думки споживачів (текст, аудіо, відео, зображення);
- переважальний пристрій для користування ресурсом.

Інструменти для автоматизації збору й аналізу інформації з інтернет-ресурсів повинні враховувати вказані особливості й опрацьовувати їх для об'єктивної роботи й оцінювання.

Соціальна мережа "Твітер" (англ. Twitter) є однією з найпопулярніших у світі, оскільки охоплює 319 мільйонів активних користувачів. Мережу "Твітер" як платформу для контент-маркетингу використовують більше 80 % маркетологів, які працюють у сегменті B2B (Nistor et al., 2021). Мережа "Твітер" має такі значення згаданих критеріїв (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики соціальної мережі	
Критерії	Показники
Характеристики цільової аудиторії соціальної мережі	43,6 % – жінки, 56,4 % – чоловіки (Statista, 2021) 38,5 % – 25–34 роки, 20,7 % – 35–49 років (Островський, 2021)
Тематики ресурсу	Відсутні
Технічні та функціональні особливості ресурсу	Максимальна кількість символів у твіті – 140; необмежена кількість твітів для одного користувача
Представлені засоби висловлення думки споживачів	Текст, посилання, зображення
Переважальні пристрої для користування ресурсом	Смартфони

Для створення сервісу щодо аналізу текстів у мережі "Твітер" важливим є факт відсутності тематики ресурсу та свобода вираження у ньому, що треба враховувати у підготовці вхідних даних для аналізу. Одним із факторів є наявність граматичних помилок і сленгу.

Засоби аналізу та класифікації текстів та їхнє порівняння. Для аналізу текстів часто застосовують програмні інструменти сентиментального аналізу, який є задачею класифікації тексту (Minaee et al., 2021), аналізу намірів і контекстуального семантичного пошуку.

Програмні продукти, що використовують алгоритми для визначення значень необхідних метрик, покликани надавати користувачам згруповану та зрозумілу інформацію, яка може бути додатково ілюстрована числами, графіками, діаграмами, посиланнями на джерела.

Для сентиментального аналізу зазвичай поєднують використання статистики, оброблення природної мови та машинного навчання для визначення та вилучення суб'єктивної оцінки автора про предмет висловлювання.

Для різних цілей використовують різні рівні деталізації сентиментального аналізу, що означає дослідження різного обсягу інформації та виокремлення її значущих частин. Результатом сентиментального аналізу є висновок про тональність (позиція автора відносно згаданої теми), виражену словами або реченнями, яка може бути нейтральною, позитивною або негативною.

Існують такі підходи до здійснення сентимент-аналізу тексту:

- застосування правил із використанням раніше виявлених шаблонів. Текст поділяють на окремі слова та послідовності слів, у яких оцінюється тональність. Такі виокремлені й оцінені елементи стають шаблонами для правил, які застосовують для визначення тональності текстів;
- машинне навчання без учителя. Підхід базується на тому, що найбільше значення мають слова або послідовності слів, що зустрічаються у досліджуваному тексті або уривку найчастіше. Отже, визначивши ці терміни та їхню тональність, можна дійти висновку про тональність повного тексту;
- машинне навчання з учителем. Метод потребує навчального набору даних, що мають визначений емоційний характер. На його базі будують і використовують статистичний класифікатор;
- застосування графових моделей тексту. Підхід враховує те, що слова у тексті нерівнозначні, і ті, які зустрічаються частіше, сильніше впливають на його тональність.

Останній метод включає кілька етапів, серед яких:

- побудова графа на основі тексту, що підлягає дослідженню;
- визначення рангів вершин графа;
- оцінювання та класифікація знайдених слів;
- підсумок аналізу й визначення результату.

Також існують гібридні методи, які поєднують у собі всі або кілька з наведених вище. Оскільки це дає можливість дослідити тональність тексту з різних боків, можна стверджувати, що поєднання кількох підходів є найефективнішим, оскільки дозволяє покрити всі значущі для тональності елементи.

Однак, враховуючи те, що будь-які методи сентиментального аналізу працюють над природною мовою, існують поширені проблеми, пов'язані із цим, що не дають можливості досягти максимальної високої точності оцінки тональності.

Ці проблеми часто спричинені:

- орфографічними помилками у висловлюваннях користувачів електронними ресурсами;
- тональність оцінюється для повного тексту, а не для конкретного об'єкта висловлювання;
- оцінка автора не завжди визначається наявністю створених ним позитивних, нейтральних або негативних висловлювань про продукт;
- покращити результати автоматичного визначення тональності тексту можна за допомогою використання методів автоматичного виправлення орфографічних помилок, удосконалення словників (для методів, заснованих на



словниках) і навчальної вибірки (для методів машинного навчання). Також можна підвищити точність роботи алгоритмів, застосовуючи розробки з інших проблем природної мови, як-от:

- автоматичне реферування (automatic summarization);
- виявлення кореферентності, референціональної множини (coreference resolution);
- аналіз порівнянь;
- вилучення об'єктів із текстів (Named-entity recognition, NER) та виявлення відносин між ними (Relationship extraction).

Частота орфографічних помилок і сленгу в повідомленнях твітів набагато вища, ніж в інших доменах, оскільки користувачі зазвичай публікують повідомлення з найрізноманітніших електронних пристроїв, включаючи смартфони та планшети. Крім того, в такому середовищі користувачі розвивають свою власну культуру та специфічний словниковий запас, який, хоч і є обмеженим із погляду довжини (напр., кількості символів), може передавати насичене значення.

Теоретичне порівняння методів аналізу тексту. Для використання аналізу на базі лексикону або словників створюють набори слів із наперед визначеною тональністю, які надалі порівнюють зі словами з досліджуваного тексту. Також словники можуть містити і словосполучення, послідовності слів, фразеологізми, їхнє використання підвищує точність алгоритму.

Після розгляду методу з використанням словників, з погляду реалізації у ньому можна виокремити такі етапи:

1. Завантаження сентимент-словників, що містять уже марковані слова або послідовності слів.
2. Завантаження тренувального набору даних із мережі "Твіттер", на якій проводитиметься навчання.
3. Очищення твітів від стоп-слів.
4. Токенізація слів із набору.
5. Порівняння слів із словниковим варіантом, присвоєння їм відповідної тональності й урахування їхньої тональності для кінцевого результату.
6. Обчислення співвідношення кількості слів різної тональності та визначення результату.

Указаний підхід не можна назвати ефективним, оскільки у ньому не враховано способи поєднання слів, що часто призводить до зміни їхнього значення та настрою автора.

Цих недоліків можна позбутися з використанням машинного навчання, оскільки цей метод, подібно розуму людини, використовує власний досвід, а не "сухі" дані і найкраще підходить для аналізу текстового контенту із соціальних мереж. Серед недоліків традиційних методів машинного навчання є необхідність ретельного відбору ознак для класифікації і, відповідно, трудомістке попереднє оброблення даних. До того ж, в аналізі тексту із соціальних мереж не враховується наявність граматичних помилок і сленгу, який може використовуватися доволі часто.

Найпоширенішим методом класифікації тексту нині є використання методів глибокого машинного навчання із застосуванням нейронних мереж, оскільки вони показують найкращі результати. Серед переваг також є відсутність необхідності "ручного" відбору ознак у даних і гнучкість – за зміни постановки задачі не потрібно масштабних змін у коді нейронної мережі.

Порівнюючи результати роботи, бачимо, що нейронні мережі показують кращі результати ніж методи логічної регресії, однак час роботи перших набагато більший (Sheng, Socher, & Manning, 2015).

За порівняння найпоширеніших нейронних мереж для класифікації тексту майже однаково себе показують рекурентні і згорткові мережі, причому результати можуть не набагато відрізнитись у разі зміни теми вхідних даних. Середній результат для обох мереж в усіх випадках дорівнює приблизно 87 %.

Дослідження свідчать про те, що на точність результатів роботи рекурентних нейронних мереж впливає кількість прихованих шарів у мережі, архітектура, кількість комірок пам'яті і їхніх типів (GRU/LSTM), а також кількість шарів, яким належать ці комірки, механізм попереднього оброблення даних, кількість кроків оброблення (Minaee et al., 2021).

Архітектура нейронних мереж для задач класифікації тексту. Класифікація тексту в основному зосереджена на трьох аспектах:

- пошук ознак: найчастіше для цього використовують "мішок слів", проте існує ще кілька мультиплексних функцій, наприклад теги частини мови, ядра дерева та фрази-іменники;
- вибір ознак: призначений для видалення "зашумлених" ознак і збільшення ефективності класифікації; найпоширеніший метод вибору – видалення стоп-слів;
- алгоритми машинного навчання: використання класифікаторів, наприклад, наївний баєсів класифікатор (NB), логістична регресія (LR) і метод опорних векторів (SVM).

Ефективність нейронної мережі залежить від результатів кожного з аспектів, її підвищення є головною метою в задачі побудови моделі для класифікації тексту. До метрик, які визначають ефективність мережі, зазвичай належать значення точності (1) і функції втрат моделі:

$$Acc = \frac{N_{yPred}}{N_{yTrue}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де Acc – точність моделі; N_{yTrue} – кількість коректних класифікацій; N_{yPred} – кількість значень, що класифікуються.

Функції втрат, які поділяють на втрати класифікації і втрати регресії, мають різне застосування і вибираються залежно від задачі, тому можуть показувати різні результати у різних контекстах використання.

Для проблем класифікації найчастіше використовують функцію cross-entropy (2), значення якої зростає із збільшенням різниці між прогнозованою оцінкою та фактичною:

$$CrossEntropyLoss = -(y_i \hat{y}_i + (1 - y_i) \cdot \log(1 - \hat{y}_i)), \quad (2)$$

де \hat{y}_i – значення функції втрат; y_i – значення фактичної оцінки.

З рівняння (2) випливає, що коли фактична оцінка дорівнює 1 ($y_i = 1$), то друга половина функції стає рівною 0; у разі, якщо фактична оцінка дорівнює 0 ($y_i = 0$), перша половина стає рівною 0. У такому випадку обчислюється добуток фактичної прогнозованої імовірності для основного класу істинності. Важливим аспектом цього є те, що функція робить значущими прогнози, які є високоімовірними, але помилковими.

Відповідно значення функції втрат у процесі побудови моделі для класифікації підлягає мінімізації.



Порівнюючи методи машинного навчання, відразу звертаємо увагу на недолік методу машинного навчання з учителем, що полягає у потребі в анотованих наборах даних. Тому може бути необхідною ручна анотація, але це тривалий, вартісний процес, який часто призводить до помилкових висновків. Для методів напівконтрольованого навчання (SSL) використовують у навчальному процесі немарковані дані. Нерозмічені дані можуть покращити класифікацію у програмах, де кількість маркованих даних дуже мала. Через це методи на основі SSL є перспективною альтернативою для аналізу тональності твітів, оскільки доступна переважна кількість некоментованих твітів, на відміну від обмеженої кількості анотованих. З огляду на це прості напівкервані моделі класифікації, такі як Self-training, можуть мати велике практичне значення.

Кращі результати (Appel et al., 2016) показують гібридні методи, що поєднують у собі методи машинного навчання з використанням словників. Згортова нейронна мережа, розширена за допомогою методу опорних векторів і рекурентного шару й аналіз на основі словників із машинним навчанням показують покращений результат. Комбінація CNN, LSTM (Long short-term memory) і SVM спрямована на використання переваг двох моделей архітектури глибокої мережі й алгоритмів SVM під час виконання аналізу настроїв у різних доменах і типах наборів даних. Крім того, існують різні типи вхідних даних, отриманих із соціальних мереж, наприклад твіти та огляди, різноманітність тем у кожному наборі даних, розмір вибірки та більшу чи меншу присутність явних настроїв і невідповідних інформації. Деякі підходи можуть бути неефективними в різних областях, з недостатньою точністю та неефективністю в аналізі настроїв. Як наслідок, певні підходи можуть бути погано застосовними і не знаходити використання для певних типів вхідних даних.

Згортова нейронна мережа, що може бути елементом архітектури нейронної мережі для класифікації текстів, включає серію фільтрів різних розмірів і форми, які згортають вхідну матрицю даних, щоб зменшити її до матриці розірності ще нижчого рівня. Для розв'язання задачі класифікації текстів згорткової нейронної мережі застосовують до векторних представлень речень. Зниження дискретизації, що використовується у згортковій нейронній мережі, має назву L_2 -регуляризація. Згортова мережа застосовує функцію активації, що допомагає їй працювати в ядрі, тобто у просторі високої розмірності для нейронного оброблення.

Дослідження (Conneau et al., 2017) показують, що збільшення глибини згорткової мережі підвищує її точність. На результати також впливає метод масштабування, що застосовується до згорнутих даних. Зазначимо, що алгоритм MaxPooling зарекомендував себе краще, ніж KmaxPooling і Convolution. MaxPooling у цілому досягає кращих результатів, які, проте, близькі до результатів з використанням Convolution із кроком рівним 2. Обидва алгоритми значно ефективніші, ніж KmaxPooling. Обидва механізми масштабування виконують локальну операцію max, яка обмежена трьома послідовними значеннями, тоді як алгоритм k -max враховує відразу ціле речення. Згідно з експериментами, він погано впливає на ефективність класифікатора під час використання у проміжних шарах (за винятком менших наборів даних) (Conneau et al., 2017).

Рекурентна нейронна мережа (RNN – від англ. Recurrent neural network) – це один із типів нейронних мереж, який використовує рекурсивний алгоритм. Такі нейронні мережі найчастіше застосовують у разі проблем з оброблення природної мови, оскільки вони "вміють" працювати з контекстом у тексті. Рекурсивні нейронні мережі відрізняються своїм механізмом "запам'ятовування", який використовує інформацію з попередніх ітерацій для кожної наступної, що дозволяє впливати на результат кожного згорткового шару мережі на їхній основі. Цим RNN відрізняються від інших нейронних мереж, які не враховують впливу попередніх виходів на поточний.

Переваги рекурентної нейронної мережі:

- врахування вибірок попередніх шарів на наступних;
- рекурентні нейронні мережі використовують зі згортковими шарами для розширення ефективного сусідства елементів.

Недоліки рекурентної нейронної мережі:

- проблеми зі зникненням і вибухом градієнта;
- навчання RNN – складне завдання (Pascanu, Mikolov, & Bengio, 2013);
- через нелінійні алгоритми оброблення даних і налаштування ваг моделі часто важко встановити стабільність системи (Chiang, Chang, & Chang, 2004);
- не може обробляти дуже довгі послідовності з використанням функцій активації relu або tanh.

Мережі довготермінової пам'яті (LSTM) є модифікованою версією рекурентних нейронних мереж, що представляють гнучкий механізм керування пам'яттю мережі. Використовуючи їх, можна розв'язати проблему зникаючого градієнта, що властивий звичайним рекурентним мережам. LSTM дозволяє враховувати вплив вибірок даних із попередніх виходів шарів, не обмежуючи час життя цих вибірок за допомогою логіки відбору таких даних для наступних ітерацій. Такі моделі навчаються алгоритмом зворотного поширення.

У мережі LSTM наявні три види шлюзів:

1. Вхідний шлюз (англ. "input gate") відбирає значення із вхідних даних, які мають вплинути на такі етапи:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i), \quad (3)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C), \quad (4)$$

де i – вихідне значення шлюзу "input gate"; σ – сигмоїдна функція; t – такт; W – вага; h – вектор вихідних даних шару; x – вектор вхідних даних шару; b – значення нейрона зсуву; \tilde{C} – значення комірки пам'яті.

2. Шлюз забуття (англ. "forget gate") відбирає дані, які підлягають виключенню з блоку. Вони визначаються також сигмоїдною функцією, яка залежить від вихідних даних попередньої ітерації і вхідних значень. Далі шлюз визначає число від 0 (виключити) і 1 (зберегти) для кожного значення у стані комірки C:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f), \quad (5)$$

де σ – сигмоїдна функція; t – такт; W – вага; h – вектор вихідних даних шару; x – вектор вхідних даних шару; b – значення нейрона зсуву.



3. Вихідний шлюз (англ. "output gate") використовує поточний вхід і вихід попереднього блоку для визначення поточного виходу. Сигмоїдна функція (6) визначає, які значення пропускати через шлюз. Функція \tanh надає вагу значенням, які передаються, вирішуючи рівень їхньої важливості числом у діапазоні від -1 до 1 , яке далі множиться на вихід сигмоїда (7):

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o), \quad (6)$$

$$h_t = O_t \cdot \tanh(C_t), \quad (7)$$

де O – вихідне значення шлюзу "output gate"; σ – сигмоїдна функція; t – такт; W – вага; h – вектор вихідних даних шару; x – вектор вхідних даних шару; b – значення нейрона зсуву; \tanh – функція "гіперболічний тангенс".

Існують роботи з удосконалення моделей RNN і LSTM для класифікації тексту шляхом отримання більшого обсягу інформації з урахуванням, наприклад, деревоподібних структур природної мови, відношення між словами в тексті, теми документів тощо. З такою метою була розроблена модель Tree-LSTM (Sheng, Socher, & Manning, 2015), яка є узагальненням LSTM до деревоподібної типології мережі, задля дослідження насичених семантичних елементів документів. Її автори стверджують, що Tree-LSTM є кращою моделлю, ніж ланцюгова структурована LSTM для завдань NLP, оскільки природна мова проявляє синтаксичні властивості, які природно поєднують слова у фрази. Вони підтверджують ефективність Tree-LSTM у розв'язанні двох завдань: класифікації настроїв і прогнозування смислової спорідненості двох речень. Архітектуру цих моделей показано на рис. 1. Елементи x_i та y_i позначають вхід і вихід кожної комірки.

У процесі розширення ланцюгової LSTM із застосуванням деревоподібної структури, яка використовує комірку пам'яті для зберігання історії кількох дочірніх елементів або кількох комірок-нащадків у рекурсивному процесі, нова модель забезпечує ефективний спосіб розгляду взаємодії елементів на великій відстані в ієрархіях, наприклад, структурі аналізу мови або зображень (Zhu, Sobhani, & Guo, 2015).

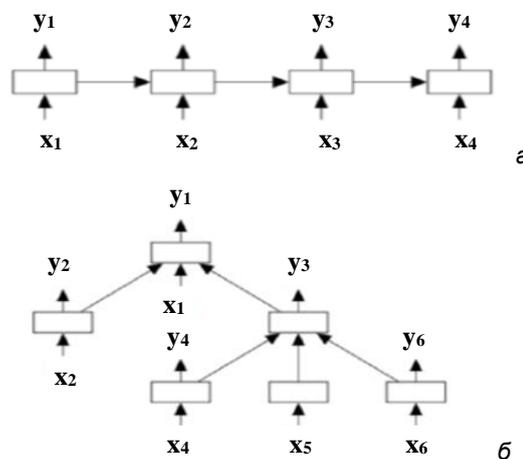


Рис. 1. LSTM-мережа: а – ланцюгова; б – деревоподібна

Метою дослідження є розроблення концепції функціонування проєктів електронної комерції, націлених на індивідуальні замовлення. В основу такої моделі покладено інформаційну аналітику інформаційного простору проєкту.

Ефективність нейронної мережі переважно визначають гіперпараметри, якими можуть бути представлені рівень навчання мережі, функції активації, кількість шарів і нейронів у них, кількість епох навчання тощо.

Вибір функції активації мережі має залежати від поставленої задачі, яку ця мережа розв'язує, і є важливим фактором в її ефективності, оскільки описує функцію перетворення суми ваг для шарів мережі. Ці функції покликані вирізати дані, які найбільше впливають на результат роботи мережі.

У створенні рекурентних і згорткових нейронних мереж можуть виникати проблеми зникаючого або вибухового градієнта. Явище зникаючого градієнта виникає за використання функцій активації з похідними, близькими до нуля. Під час навчання мережі через їхнє множення за декілька ітерацій градієнт стає настільки малим, що ваги майже не оновлюються і під час навчання не вдається досягти глобального мінімуму функції втрати мережі.

За значень похідних функцій активації більше одиниці відбувається вибухання градієнта, тобто різке зростання ваг моделі з великою кількістю шарів при навчанні.

В обох випадках рівень навчання моделі наближається до нуля та досягається невисока її точність, що впливає з рівняння (8):

$$W_{new} = W_{old} - \eta \left(\frac{\partial L}{\partial W_{old}} \right), \quad (8)$$

де W_{new} – нова вага; W_{old} – стара вага; η – рівень навчання; L – значення функції втрат. Обидва явища спричиняють нестабільність моделі та великі значення результуючої функції втрат.

У продуктивності мережі важливу роль відіграють три основні аспекти нейронної мережі: архітектура мережі та шаблон зв'язків між блоками, алгоритм навчання та функції активації, що використовуються в мережі. Проте більшість досліджень з аналізу нейронних мереж зосереджують увагу на ролі алгоритму навчання, оскільки важливістю функцій активації, які використовуються нейронними мережами, переважно нехтують.

Властивості, яким загалом має відповідати функції активації, такі:

- функція активації має бути неперервною і обмеженою;



▪ функція повинна бути сигмоїдною або межі для нескінченності мають задовольняти таким рівнянням (Chandra, & Singh, 2004):

$$f(x) = \alpha, \quad (9)$$

$$f(x) = \beta, \quad (10)$$

$$\alpha < \beta, \quad (11)$$

де x – вектор вхідних значень функції; $f(x)$ – функція активації; α, β – довільні значення.

У дослідженні (Farzad, Mashayekhi, & Hassanpour, 2019) оцінено продуктивності мережі LSTM із 23 різними функціями активації, які можна використовувати замість сигмоїдної. Змінювали кількість прихованих шарів у мережі та використовували три різні набори даних для класифікації. Результати показали, що деякі менш відомі функції активації, такі як функція Елліота (LeRoy Elliott, 1998) та її модифікації можуть привести до меншого рівня помилок порівняно з найпопулярнішими функціями: *relu*, *tanh* і *sigmoid* (Farzad, Mashayekhi, & Hassanpour, 2019).

До проблем, пов'язаних із навчанням нейронних мереж, належить проблема перенавчання. Однією з її причин може бути тісний зв'язок між нейронами мережі, що веде до гарних результатів на тренувальних даних, але до протилежного результату на тестових. Для розв'язання проблеми застосовують метод стохастичної регуляризації Dropout – виключення нейронів разом із їхніми зв'язками із шару з певною ймовірністю під час навчання. За використання методу мінімізація функції втрат відбувається стохастично при розподілі шуму (Srivastava et al., 2014). Це можна розглядати як мінімізацію очікуваної функції втрат. Отже, під час тренування моделі, поступове оновлення ваг відбувається без урахування виключених нейронів.

За використання Dropout із шарів випадковим чином виключаються нейрони із заданою ймовірністю p з розподілу Бернуллі, а ваги нейронів, що залишились, підлягають масштабуванню за формулою (12):

$$W_{in} = W / \left(\frac{n_{ex}}{N}\right), \quad (12)$$

де W_{in} – вага включеного нейрона; W – оригінальна вага нейрона; n_{ex} – кількість виключених нейронів шару; N – кількість усіх нейронів шару.

Ефективність тієї чи іншої архітектури нейронної мережі можливо визначити лише емпіричним шляхом, і хоча результати досліджень точно показують найефективніші алгоритми і функції, що можуть бути використані у тренуванні моделі, різне їхнє поєднання може приводити до іншого результату. Тому для визначення оптимальної будови моделі для аналізу текстів необхідно проводити експерименти з використанням різних архітектур. Нейронну мережу з тією архітектурою, яка показує найвищу точність і найменше значення функції втрат на тестових даних, вважають найефективнішою.

Мова програмування для реалізації застосунку. Для реалізації сентиментального аналізу твітів найкраще використовувати мову Python, оскільки вона:

- є простою зі структурного погляду побудови програм;
- має відкритий вихідний код;
- містить багато зручних методів для роботи з даними;
- використовується у великій кількості бібліотек для машинного навчання й аналізу даних, написаних мовою Python.

Для вибору оптимального варіанта бібліотеки для класифікації виконано порівняння найпоширеніших нині бібліотек для прогнозування оцінки природної мови: NLTK, TextBlob і Flair. Найкращий результат показала бібліотека Flair із точністю 74 %. Результати використання кожної з бібліотек наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Точність бібліотек NLTK, TextBlob і Flair у прогнозуванні сентименту тексту, %

NLTK	TextBlob	Flair
54	44	74

Порівняння архітектур моделі нейронної мережі для класифікації тексту. Модель для оцінювання емоційного забарвлення тексту, побудовану з використанням шарів SpatialDropout1D та LSTM, показала найвищу точність оцінки – 80 % і найменше значення функції втрат – 0,51.

```

model.add(Embedding(vocab_size, 100, input_length = X.shape[1]))
model.add(SpatialDropout1D(0.5))
model.add(LSTM(176, dropout=0.2, recurrent_dropout=0.3))
model.add(Dense(7, activation='softmax'))
model.compile(loss = 'categorical_crossentropy', optimizer='adam',
metrics = ['accuracy'])

```

Рис. 2. Код побудови моделі нейронної мережі з використанням LSTM-шару



Для порівняння створено моделі нейронної мережі з додаванням більшої кількості шарів. Припущення, що додавання шару згорткової мережі підвищить точність моделі, не справджується у разі побудови моделі, де такий шар передує рекурентному LSTM-шару:

```

model.add(Embedding(vocab_size, 100, input_length = X.shape[1]))
model.add(SpatialDropout1D(0.5))
model.add(Conv1D(filters=32, strides=3, activation='relu'))
model.add(MaxPooling1D(pool_size=2))
model.add(LSTM(50, dropout=0.2, recurrent_dropout=0.3))
model.add(Dense(7,activation='softmax'))
model.compile(loss = 'categorical_crossentropy', optimizer='adam',
metrics = ['accuracy'])
    
```

Рис. 3. Код побудови моделі нейронної мережі з використанням LSTM-шару і CNN-шару

Клас Conv1D, що реалізує функцію згортки, у конструкторі набуває параметрів:

- **filters:** ціле число, розмірність вихідного простору (тобто кількість вихідних фільтрів у згортці);
- **kernel_size:** ціле число або кортеж/список одного цілого числа, що вказує довжину вікна одновимірної згортки;
- **activation:** функція активації шару (Keras, 2023).

Результати

Для узагальнення результатів згортки додано шар масштабування – MaxPooling1D, якого набуває параметр pool_size: кратність масштабування.

Створена модель описується значеннями з рис. 4.

Layer (type)	Output Shape	Param #
embedding_13 (Embedding)	(None, 50, 100)	70000
spatial_dropout1d_11 (SpatialDropout1D)	(None, 50, 100)	0
conv1d (Conv1D)	(None, 48, 32)	9632
max_pooling1d (MaxPooling1D)	(None, 16, 32)	0
lstm_11 (LSTM)	(None, 50)	16600
dense_11 (Dense)	(None, 7)	357
Total params: 96,589		
Trainable params: 96,589		
Non-trainable params: 0		

Рис. 4. Вихідні розмірності і кількість вихідних параметрів шарів моделі з використанням шару згортки

Отримані значення майже не відрізняються від результатів мережі без згортки, але в першій мережі швидкість роботи довша за рахунок більшої кількості обчислень.

Обидві архітектури протестовано на кількості епох 5, 7, 10, 100. Модель без використання згорткового шару показує результати, наведені в табл. 3 та 4.

Таблиця 3

Метрики моделі без згорткового шару для кількості епох 5, 7, 10 і 100

Кількість епох	5	7	10	100
Точність моделі, %	80	79	79	76
Значення функції втрат моделі	0,51	0,51	0,51	0,69

Таблиця 4

Метрики моделі зі згортковим шаром для кількості епох 5, 7, 10 і 100

Кількість епох	5	7	10	100
Точність моделі, %	79	78	78	78
Значення функції втрат моделі	0,56	0,6	0,65	0,72

Згідно з результатами, можна сказати, що збільшення кількості ітерацій тренування моделі хоч і не сильно, але призводить до перенавчання й гірших результатів на тестових даних.



За значного збільшення кількості епох (до 100) вдалося досягти лише меншої точності.

У цьому експерименті варіювання розміру словника для тренування мережі впливає на точність моделі.

Використання розміру словника у 700 слів дало кращі результати, ніж використання словника обсягом 500 слів. Це може означати, що зменшення лексики призводить до меншої "обізнаності" моделі та підвищення вірогідності прогнозування на основі невідомих tokenів.

Серед оптимізаторів значно кращі результати показує оптимізатор Adam порівняно з RMSprop та Adamax, хоча в ході дослідження (Choi et al., 2019) їхні метрики досить близькі. Самі ці оптимізатори обрано для порівняння, оскільки інші функції, такі як SGD та Momentum у експериментах з різним набором даних, з різною архітектурою та тривалістю навчання показують себе гірше.

Оптимізатор Adam – алгоритм для градієнтної оптимізації стохастичних цільових функцій першого порядку, заснований на адаптивних оцінках моментів нижчого порядку. Метод простий у реалізації, ефективний в обчислюванні, має невеликі вимоги до пам'яті, незалежний від діагонального масштабування градієнтів і добре підходить для задач, які є великими з погляду даних або параметрів. Гіперпараметри методу мають інтуїтивно зрозумілі інтерпретації і зазвичай вимагають невеликого налаштування. Емпіричні результати демонструють, що Адам добре працює на практиці і вигідно порівнюється з іншими методами стохастичної оптимізації (Kingma, & Ba, 2014).

Переваги створення застосунку у формі вебсервісу. Програмну реалізацію застосунку для аналізу ставлення користувачів мережі "Твітер" до брендів доцільно здійснити у формі вебсервісу. Створення стандартизованого інтерфейсу забезпечує гнучкість такого сервісу, програмний код якого може розвиватися, не залежачи від клієнтського застосунку. Клієнт, так само, може бути реалізований із застосуванням будь-яких технологій, у вигляді вебдодатка, настільного або мобільного додатка.

Нині компанії використовують веб-API для трансформації свого бізнесу. Підприємства використовують веб-API для збільшення доходу, покращення інновацій і скорочення їхнього часу виходу на ринок за допомогою двох стратегій:

- використання чужих API;
- надання власних API для внутрішніх і зовнішніх розробників (Higginbotham, 2015).

API дозволяють використовувати роботу інших розробників. Замість того, щоб створювати кожну функцію самостійно, команди можуть використовувати сторонні API, щоб додати нові функції та зосередитися на аспектах рішень, які є унікальними. Для деяких рішень це може привести до створення програми повністю зі сторонніх API, з невеликою кількістю або зовсім без спеціальних розробок.

Алгоритм застосунку. Після отримання запиту програма, яка здійснює аналіз, виконує послідовність операцій, показаних на рис. 5.

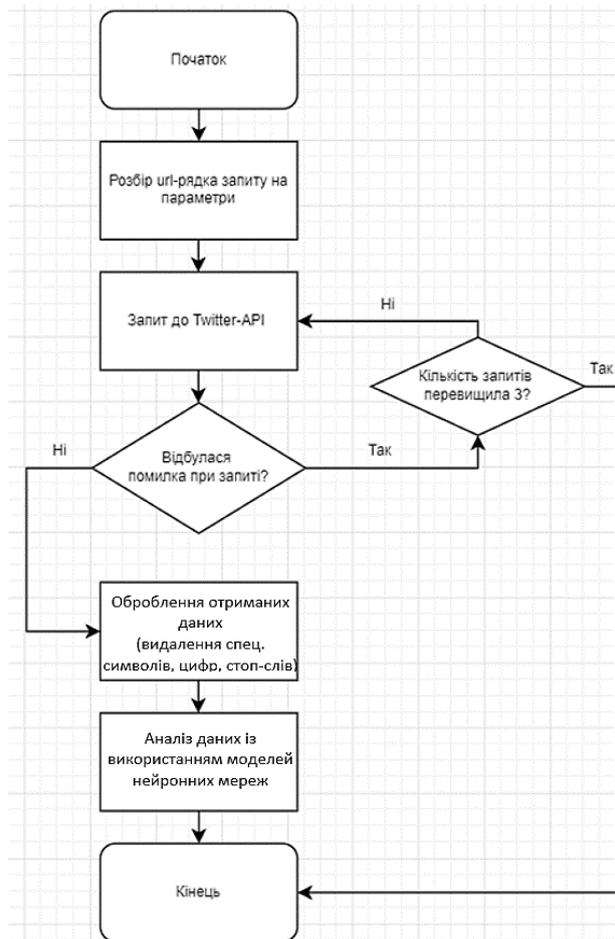


Рис. 5. Робота програми після отримання запиту



Алгоритм забезпечує оброблення ситуації, за якої на запит до Twitter-API відбувається помилка. В цьому випадку програма повторно надсилає запит, якщо загальна кількість таких запитів не перевищує 3. Причиною помилки може стати неробочий стан інтерфейсу або його зміна, коли надсилаються запити на неіснуючі методи.

Організація виведення результатів. Щоб забезпечити краще сприйняття інформації, виділення взаємозв'язків і відношень, що містяться в інформації, результати роботи застосунку з аналізу ставлення користувачів мережі "Твітер" до брендів доцільно оформити у вигляді інфографіки (рис. 6):

1. Хмара слів.
2. Загальна кількість опрацьованих твітів.
3. Графік залежності кількості твітів від дати.
4. Графік залежності кількості негативних, позитивних і нейтральних твітів від дати.
5. Кругова діаграма співвідношення кількості негативних, позитивних і нейтральних твітів.
6. Графік залежності кількості сумних, злих, щасливих, здивованих, люблячих і наляканих твітів від дати.
7. Кругова діаграма співвідношення кількості сумних, злих, щасливих, здивованих, люблячих і наляканих твітів.
8. Список проаналізованих твітів з індикатором визначеного сентименту у вигляді стрілки.

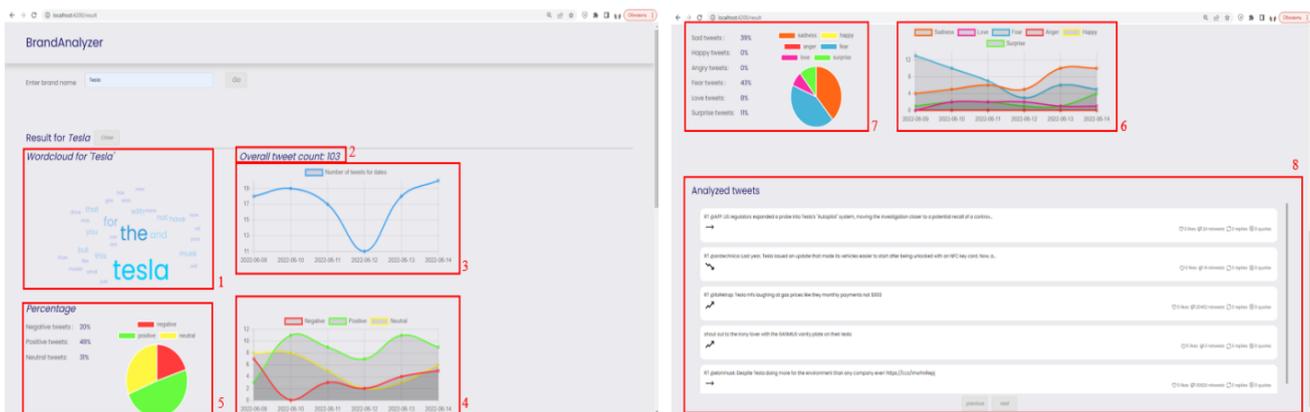


Рис. 6. Результат роботи застосунку за запитом "Tesla"

Висновки

Створення програмного засобу для аналізу ставлення користувачів соціальної мережі "Твітер" до брендів слугуватиме підвищенню ефективності маркетингової діяльності брендів.

За підготовки вхідних даних для аналізу текстів із мережі "Твітер" слід враховувати такі особливості: відсутність тематики ресурсу, наявність граматичних помилок і сленгу;

Одним із кращих засобів аналізу текстової інформації є нейронні мережі, побудовані із застосуванням підходів, які дозволяють враховувати контекст інформації;

Оптимальною є архітектура нейронної мережі з використанням шару довготермінової пам'яті без згорткового шару, оскільки швидкість роботи першої є меншою при майже однаковій точності;

Програмна реалізація застосунку для аналізу ставлення користувачів мережі "Твітер" до брендів у формі вебсервісу дозволить використовувати функціонал аналізу тексту в різних застосунках без додаткових затрат.

Внесок авторів: Ольга Жуланова – збір емпіричних даних, написання програмного коду й оброблення результатів програмування; Олена Ваціліна – огляд літературних джерел, розроблення методів і методології дослідження, опис результатів і написання висновків.

Список використаних джерел

- Островський, С. (2021). *Twitter – стисла про соціальну мережу короткого формату*. ApiX-Drive. <https://apix-drive.com/ru/blog/useful/twitter-korotko-o-socialnoj-seti-korotkogo-formata>
- Appel, O., Chiclana, F., Carter, J., & Fujita, H. (2016). A hybrid approach to the sentiment analysis problem at the sentence level. *Knowledge-Based Systems*, (108). <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2016.05.040>
- Chandra, P., & Singh, Y. (2004). Feedforward Sigmoidal Networks–Equicontinuity and Fault-Tolerance Properties. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 15(6), 1350–1366. <https://doi.org/10.1109/tnn.2004.831198>
- Chiang, Y. M., Chang, L. C., & Chang, F. J. (2004). *Comparison of static-feedforward and dynamic-feedback neural networks for rainfall-runoff modeling*. *Hydrol.* 297–311.
- Choi, D., Shallue, C. J., Nado, Z., Lee, J., Maddison, C., J., & Dahl, G. E. (2019). *On Empirical Comparisons of Optimizers for Deep Learning*. Addis Ababa.
- Conneau, A., Schwenk, H., Barrault, L., & Lecun, Y. (2017). Very Deep Convolutional Networks for Text Classification. *Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, (1). Long Papers, Valencia, Spain. <https://doi.org/10.18653/v1/e17-1104>
- Farzad, A., Mashayekhi, H., & Hassanpour, H. (2019). A comparative performance analysis of different activation functions in LSTM networks for classification. *Springer*, 31(5), 2507–2521. doi:10.1007/s00521-017-3210-6
- Higginbotham, J. (2015). *Designing Great Web APIs*. O'Reilly Media, Inc.
- Keras (2023). *Conv1D layer*. https://keras.io/api/layers/convolution_layers/convolution1d/
- Kingma, D. P., & Ba, J. A. (2014). A Method for Stochastic Optimization. *ICLR*. <https://www.kaggle.com/datasets/ishantjuyal/emotions-in-text> <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
- Kirsch, K. (2023). *What Is Brand Perception? How to Measure It and 4 Examples*. Hubspot. <https://blog.hubspot.com/marketing/what-is-brand-perception>. July 05, 2023.
- LeRoy Elliott D. (1998). A better Activation Function for Artificial Neural Networks. *Technical Research Report* (3).
- Minaee, S., Kalchbrenner, N., Cambria, E., Nikzad, N., Chenaghlu, M., & Gao, J. (2021). Deep Learning--based Text Classification. *A Comprehensive Review*. *ACM Computing Surveys*. 54(3), 1–40. <https://doi.org/10.1145/3439726>
- Nistor, S. C., Moca, M., Moldovan, D., Oprean, D. B. & Nistor, R. L. (2021). *Building a Twitter Sentiment Analysis System with Recurrent Neural Networks*. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s21072266>



- Pascanu, R., Mikolov, T., & Bengio, Y. (2013). On the difficulty of training Recurrent Neural Networks. *Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning*. Atlanta GA.
- Sheng, T. K., Socher, R. D., & Manning, C. (2015). *Improved Semantic Representations from Tree-Structured Long Short-Term Memory Networks*. Cornell University. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.00075>
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15(56), 1929–1958.
- Statista (2021). *Distribution of Twitter users worldwide as of April 2021, by age group*. <https://www.statista.com/statistics/283119/age-distribution-of-global-twitter-users/>
- Zhu, X., Sobhani, P., & Guo, H. (2015). Long Short-Term Memory Over Recursive Structures. *Proceedings of Machine Learning Research*, (37), 1602–1612.

References

- Appel, O., Chiclana, F., Carter, J., & Fujita, H. (2016). A hybrid approach to the sentiment analysis problem at the sentence level. *Knowledge-Based Systems*, (108). <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2016.05.040>
- Chandra, P., & Singh, Y. (2004). Feedforward Sigmoidal Networks—Equicontinuity and Fault-Tolerance Properties. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 15(6), 1350–1366. <https://doi.org/10.1109/tnn.2004.831198>
- Chiang, Y. M., Chang, L. C., & Chang, F. J. (2004). *Comparison of static-feedforward and dynamic-feedback neural networks for rainfall-runoff modeling*. *Hydrolog.* 297–311.
- Choi, D., Shallue, C. J., Nado, Z., Lee, J., Maddison, C., J., & Dahl, G. E. (2019). *On Empirical Comparisons of Optimizers for Deep Learning*. Addis Ababa.
- Conneau, A., Schwenk, H., Barrault, L., & Lecun, Y. (2017). Very Deep Convolutional Networks for Text Classification. *Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, (1). Long Papers, Valencia, Spain. <https://doi.org/10.18653/v1/e17-1104>
- Farzad, A., Mashayekhi, H., & Hassanpour, H. (2019). A comparative performance analysis of different activation functions in LSTM networks for classification. *Springer*, 31(5), 2507–2521. doi:10.1007/s00521-017-3210-6
- Higginbotham, J. (2015). *Designing Great Web APIs*. O'Reilly Media, Inc.
- Keras (2023). *Conv1D layer*. https://keras.io/api/layers/convolution_layers/convolution1d/
- Kingma, D. P., & Ba, J. A. (2014). A Method for Stochastic Optimization. *ICLR*. <https://www.kaggle.com/datasets/ishantjuyal/emotions-in-text> <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
- Kirsch, K. (2023). *What Is Brand Perception? How to Measure It and 4 Examples*. Hubspot. <https://blog.hubspot.com/marketing/what-is-brand-perception>. July 05, 2023.
- LeRoy Elliott D. (1998). A better Activation Function for Artificial Neural Networks. *Technical Research Report* (3).
- Miniae, S., Kalchbrenner, N., Cambria, E., Nikzad, N., Chenaghlu, M., & Gao, J. (2021). Deep Learning--based Text Classification. *A Comprehensive Review*. *ACM Computing Surveys*. 54(3), 1–40. <https://doi.org/10.1145/3439726>
- Nistor, S. C., Moca, M., Moldovan, D., Oprean, D. B. & Nistor, R. L. (2021). *Building a Twitter Sentiment Analysis System with Recurrent Neural Networks*. *Sensors*. (1–24). doi.org:10.3390/s21072266doi.org/10.3390/s21072266
- Ostrovskiy, S. (2021). Twitter – Briefly about the social network of the short format. *ApiX-Drive*. <https://apix-drive.com/ru/blog/useful/twitter-korotko-o-socialnoj-seti-korotkogo-formata> [in Ukrainian].
- Pascanu, R., Mikolov, T., & Bengio, Y. (2013). On the difficulty of training Recurrent Neural Networks. *Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning*. Atlanta GA.
- Sheng, T. K., Socher, R. D., & Manning, C. (2015). *Improved Semantic Representations from Tree-Structured Long Short-Term Memory Networks*. Cornell University. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.00075>
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15(56), 1929–1958.
- Statista (2021). *Distribution of Twitter users worldwide as of April 2021, by age group*. <https://www.statista.com/statistics/283119/age-distribution-of-global-twitter-users/>
- Zhu, X., Sobhani, P., & Guo, H. (2015). Long Short-Term Memory Over Recursive Structures. *Proceedings of Machine Learning Research*, (37), 1602–1612.

Отримано редакцію журналу / Received: 21.11.22

Прорецензовано / Revised: 05.01.23

Схвалено до друку / Accepted: 15.01.23

Olga ZHULANOVA, Bachelor
ORCID ID: 0000-0001-6231-0600
e-mail: olga.zhulanova@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Olena VASHCHILINA, PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-6867-6216
e-mail: olenavashchilina@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ELEMENTS OF NEURAL NETWORKS TECHNOLOGY FOR ANALYZING THE ATTITUDE OF TWITTER USERS TOWARDS BRANDS

Background. *The article is devoted to the issues of effective organization of collection and information analysis about the attitude of Twitter users to brands in the software application form. Issues such as research into modern means of collecting and analyzing information are considered; definition of the functionality that the application should implement; analysis of architectural solutions and selection of software necessary for its implementation.*

Methods. *When conducting research, marketing theory is used in the field of collecting information about consumer opinions, research on methods of information analysis for the purpose of classifying consumer mood, empirical analysis and synthesis of architectures used in the creation and comparison of neural network models for text classification, development and construction of own model for classification.*

Result. *As part of the task of software implementation of tweet text analysis, the architecture of convolutional and recurrent neural networks was investigated, a comparison of various hyper parameter values of neural networks was made, in particular, activation functions, loss functions, the number of learning epochs, the number of network layers, a comparison of different Python libraries for processing natural languages in the context of tweet evaluation.*

Conclusions. *The practical significance of the study is the creation of a software tool for effective analysis of Twitter users' attitudes towards brands, which can serve to improve the effectiveness of marketing activities of brands.*

Keywords: *Twitter, information analysis, text classification, sentiment analysis, neural networks, software application, Python libraries.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



Валентина ПЛЕСКАЧ, д-р екон. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-0552-0972
e-mail: valentyna.pleskach@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ярослав КРИВОЛАПОВ, асист.
ORCID ID: 0000-0003-1151-9337
e-mail: y.kryvolapov@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Гліб КРИВОЛАПОВ, студ.
ORCID ID: 0000-0002-0853-5881
e-mail: kubg@kubg.edu.ua
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ДРОНІВ У ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ

Вступ. *Висвітлено реальні можливості й перспективи створення та застосування безпілотних літальних апаратів в автодорожній і залізничній інфраструктурах. В межах проведеного експерименту поставлено завдання створення дрону з використанням найпростіших засобів розроблення у лабораторних умовах.*

Методи. *Використано метод натурного експерименту для перевірки працездатності запропонованих рішень.*

Результати. *Створений у результаті експерименту дрон здатний в автоматичному режимі стабілізувати своє положення, на нього можна встановити плату приймача, що дасть змогу організувати дистанційне керування. У перспективі на квадрокоптер можуть бути встановлені додаткові модулі, із застосуванням механізму глибинного навчання. А застосування інтелектуальної системи виявлення та розпізнавання образів на базі ефективних алгоритмів цифрового оброблення даних дозволить суттєво скоротити час на оброблення даних, отримання високоточних результатів і забезпечити доступ до інформації в максимально стислий термін, що буде ще одним фактором, що сприяє активному впровадженню безпілотних технологій.*

Висновки. *Завдяки можливості отримання різноманітних даних безпілотні літальні апарати зможуть у найближчому майбутньому значно скоротити витрати на розв'язання різноманітних завдань і стати незамінними помічниками в секторі транспортної інфраструктури.*

Ключові слова: навчання машин, транспортна інфраструктура, безпілотний літальний апарат, дрон, оброблення й аналіз даних.

Вступ

Транспортна інфраструктура – найважливіша система розвинутого суспільства. Зростання капітальних вкладень у транспортну інфраструктуру спостерігають повсюдно. Автодорожній і залізничний сектори системи на цьому етапі можуть отримати набагато більше переваг, використовуючи в цій сфері безпілотні літальні апарати, які можуть виявитися швидшими, економічнішими та безпечнішими. Завдяки можливості одержувати різноманітні дані дрони можуть стати незамінними помічниками у будівництві нових доріг або налагодженні старих під час поточного ремонту. Найближчим часом застосування безпілотних літальних апаратів приведе до інноваційних змін у секторі транспортної інфраструктури.

Дрони та дані, які за їхньою допомогою можна збирати, радикально змінять ситуацію на всіх етапах інвестиційного проекту для сектору транспортної інфраструктури. Безпілотні літальні апарати забезпечують швидкий і точний збір даних, які разом із новітніми інструментами тривимірного моделювання незамінні у процесі планування. За рахунок надання точних геопросторових даних дрони не лише полегшують процеси проектування, а й дозволяють обмежити витрати на корегування планів і проектних рішень. На етапі підготовки до введення в експлуатацію автомобільних і залізничних доріг з'являється можливість оцінити результат виконаних робіт порівняно з первинним проектом і виявити певні відхилення. Також їх можна використовувати для оцінювання впливу проекту на навколишнє середовище загалом.

Нині внаслідок активного зростання мобільності населення громадяни змушені щотижня проводити багато годин на шляху від одного пункту до іншого. Завантаженість внутрішньоміських транспортних мереж, а також систем міжміських перевезень суттєво збільшується щорічно. У зв'язку із цим пріоритетом є завдання забезпечення функціонування наявної транспортної інфраструктури на повну потужність. І саме використання безпілотних пристроїв, обладнаних фотовідеокамерами високої роздільної здатності та датчиками, можуть допомогти людині у проведенні оцінювання, адже використовуючи новітні досягнення у сфері цифрового оброблення зображень, можна досягти великої точності даних. Особливо це важливо в тих випадках, коли доступ до інфраструктури ускладнено чи пов'язано з небезпекою для життя чи здоров'я. Наприклад, дрон, оснащений інфрачервоною камерою, може обчислити місця перегріву дротів, що виникає в результаті корозії опор ліній електропередачі, неправильного підключення або перепадів напруги, причому отримати цю інформацію можна без шкоди для здоров'я людини. Безпілотні літальні апарати можна обладнати й іншими датчиками, які надаватимуть операторам автомобільних доріг і залізниць дані, які коштують дуже дорого, якщо їх взагалі можна отримати. Автономні безпілотні пристрої зможуть здійснювати об'їзди автомобільних трас і залізниць упродовж сотні кілометрів і надавати найточніші дані за низьких витрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дрони набули популярності у використанні в транспортній інфраструктурі, оскільки вони можуть допомогти забезпечити швидкі й ефективні доставки, інспекції та обслуговування. Останні дослідження та публікації зосереджено на питаннях покращення безпеки, ефективності та розширення можливостей використання дронів (Lum et al., 2011). Одним з основних напрямів досліджень є розроблення систем, які дозволяють дронам працювати безпечно в міських умовах. Для цього використовують різні технології, такі як датчики виявлення



перешкод, системи автономного керування й аналізу даних із дронів. За допомогою цих технологій можна зменшити ризики зіткнення з іншими повітряними транспортними засобами, будівлями й іншими перешкодами. Інше дослідження зосереджено на використанні дронів для ефективного контролю й обслуговування транспортної інфраструктури, наприклад, доріг, мостів та інших споруд (Scheduling, & Finn, 2010). Застосування дронів дозволяє швидко й ефективно виявляти пошкодження та потреби в ремонті, що допомагає забезпечити безпеку на дорогах та інших транспортних маршрутах. Крім того, дослідження показали, що дрони можуть бути використані для доставки товарів і медичної допомоги у важкодоступних і віддалених місцях (Piotrowski, Witkowski, & Piotrowski, 2015). Це може допомогти забезпечити швидку й ефективну доставку, особливо в умовах надзвичайних ситуацій, наприклад, у разі природних катастроф або воєнного стану. Кожен, хто потребує використання дронів, знає, що це вимагає великих грошових витрат. Дрони коштують дорого, тому що вони є продуктом високих технологій. Насправді все залежить від того, навіщо потрібен дрон, і від якості, за яку ви готові платити. Наприклад, автономні дрони можна використовувати для інспекції транспортної інфраструктури, для доставки товарів у логістичній діяльності, для забезпечення міської мобільності, а також для інспекції мостів (Kumar, Kumar, & Sreenivas, 2015). Є інші дослідження та розроблення, спрямовані на широке застосування дронів у різних прикладних галузях (Shah, Dutt, & Modh, 2014). У публікації запропоновано один із реальних способів конструювання дрону за мінімальних витрат із боку розробника.

Мета дослідження. Метою цього дослідження є перевірка можливості створення експериментального дрону з використанням найпростіших засобів розробки. Мозком розробки став польотний контролер Arduino Uno. Його можливостей достатньо для того, щоб керувати безпілотником. Крім мікроконтролера для створення безпілотного літального апарата використано: акумулятор на 3,7 В, плату MPU-6050, транзистор ULN2003A, колекторні двигуни з порожнистим ротором 0820 і дроти.

Методи

В роботі пропонується використати метод натурального експерименту для перевірки працездатності запропонованих рішень. Для його реалізації зібрано й апробовано дослідницький зразок.

Результати

Оскільки основна ідея розроблення полягала в тому, щоб зібрати недорогий апарат, то вибір авторів зупинився на колекторних двигунах із порожнистим мотором (coreless motors). Вони не такі надійні, як безколекторні двигуни, однак набагато дешевше коштують. Крім того, можна обійтися без додаткових контролерів швидкості. Але неможливо обійтися без гіроскопа й акселерометра. Гіроскоп необхідний, щоб квадрокоптер міг утримувати заданий напрямок руху, тоді як акселерометр використовують для вимірювання прискорення. Без цих пристроїв керувати коптером було б набагато складніше, оскільки саме вони надають дані для сигналу, що регулює швидкість обертання гвинтів. Модель рами для друку можна створити самостійно та роздрукувати на 3D-принтері каркас, промені й кріплення для двигунів. Зазначимо, що роздрукована на принтері рама виявилася не тільки легкою, а й достатньо міцною.



Рис. 1. Плата I2C

Для налаштування акселерометра-гіроскопа (I2C) застосовано бібліотеку I2C Device Library. Зауважимо, що під час під'єднання плати до контролера для живлення необхідно використовувати напругу саме 3,3 В. Підключення плати до 5 В найімовірніше призведе до її поломки. Плату I2C із датчиками (рис. 1) відрізняють від традиційної плати акселерометра з трьома аналоговими виходами для осей x, y, z.

I2C – це інтерфейсна шина, що забезпечує передавання значних обсягів даних через логічні цифрові імпульси. Аналогових виходів на платі небагато, і це велика перевага I2C, адже в іншому разі довелося би використовувати всі порти на Arduino, щоб отримати дані від гіроскопа й акселерометра. Перевагою обраного для складання дрону мікроконтролера є простота роботи з ним. Під'єднавши плату MPU-6050 до контролера (рис. 2) та виконавши калібрування датчиків, отримуємо гіроскоп і акселерометр, що функціонують.

До програми також необхідно завантажити бібліотеку з Arduino PID. Вона допоможе керувати дроном. Алгоритм, який використовують для стабілізації, базовано на двох PID-контролерах. Один призначений для крену, інший – для тангажу.

Для того, щоб керувати коптером, необхідно отримати контроль над двигунами, під'єднавши їх до Arduino (рис. 3).



Рис. 2. Підключення до контролера



Рис. 3. Квадрокоптер на базі Arduino Uno



Контролер надає на виході невелику напругу й силу струму, тому підключення двигунів безпосередньо позбавлене сенсу. Замість цього можна поставити кілька транзисторів, що дають змогу збільшити напругу.

Усе це збирається на монтажній платі та з'єднується конекторами.

Вузким місцем коптера є його колекторні двигуни. Можна встановити трохи більші й потужніші двигуни, ніж запропоновані в моделі, але значного виграшу в характеристиках досягти не вдасться.

Безколекторні двигуни помітно дорожчі, однак вони спроможні додати більшу потужність і надійність. Вибір плати Arduino Uno зумовлений тим, що з неї можна доволі легко зняти чип і встановити його на ProtoBoard. Це дасть змогу зменшити вагу дрону на 30 г, але доведеться включити у схему додаткові конденсатори. Підійде і плата Arduino Pro Mini. Щодо програми Arduino, то її можна порівняно легко змінити й доповнити новими функціями. Головно, що з її допомогою дрон здатний в автоматичному режимі стабілізувати своє положення. На квадрокоптер можуть бути встановлені додаткові модулі, наприклад, плата приймача, що допоможе організувати дистанційне керування дроном.

Застосування камери на дроні є важливим аспектом для розширення його функціональності. Додавання камери дозволяє не лише отримувати дані з висоти, але й використовувати методи оброблення зображень для одержання додаткової інформації та аналізу місцевості, підвищувати якість зображень.

Загальною метою аналізу є виокремлення з відеоданих необхідної інформації. Найчастіше до таких завдань належать виділення ознак на зображенні, виявлення та розпізнавання об'єктів, виділення й ідентифікація структур. Аналіз зображень, що пов'язаний переважно з прийняттям рішень про належність зображення чи його частини до деякого класу об'єктів, фактично є завданням ідентифікації.

Що стосується підвищення якості зображень, то доцільно розглядати це питання у двох аспектах. По-перше, таке оброблення може здійснюватися для покращення якості візуального сприйняття зображення людиною. Другим можливим варіантом постановки є попереднє оброблення для наступного автоматичного аналізу зображення.

Є ряд методів, які використовують для покращення умов спостереження зображень. Деякі з них оперують із зображенням у просторово-часовій області, тоді як інші здійснюють перетворення над спектром зображення, тобто у частотній області. Тому доцільно розглянути кожну із зазначених груп методів окремо.

До методів попереднього оброблення зображень у просторово-часовій ділянці можна віднести методи підвищення контрастності, видалення фону, амплітудну фільтрацію зображень тощо.

Слабкий контраст – найпоширеніший дефект фотографічних і телевізійних зображень. У багатьох випадках контраст можна підвищити, змінюючи яскравість кожного елемента зображення за характеристикою, обраною відповідно до поставлених цілей. У випадку цифрових зображень отримати потрібну характеристику передачі рівнів досить легко. Проте у відшуканні нелінійного оператора слід враховувати помилки квантування, тому що можуть виникнути помітні хибні контури за недостатньої кількості відповідних рівнів квантування.

Фоновим зображенням є зображення, інтенсивність якого у кожній точці координатної сітки є реалізація деякої випадкової величини із заданими параметрами розподілу. Завдання фільтрації фону полягає у видаленні цих значень із відліків початкового зображення у разі найменших спотворень корисного сигналу. Відомий підхід нелінійного оброблення, що дозволяє розв'язувати таке завдання – метод медіанної фільтрації. Вибір цього методу заснований насамперед на його простоті. Алгоритм методу медіанної фільтрації дозволяє найекономніше використовувати машинну пам'ять для розв'язання завдання на комп'ютері, значно скорочуючи час оброблення зображення.

Суть методів, що належать до оброблення зображень у частотній області, полягає в обчисленні двовимірних перетворень (швидкого перетворення Фур'є (ШПФ)), унесенні змін до результату перетворення та в обчисленні зворотного перетворення з метою отримання покращеного зображення.

ШПФ було обрано по-перше, у зв'язку з простотою інтерпретації виконання, тобто досить простим аналізом зображення з його спектра, по-друге, через відсутність етапів навчання на відміну від інших методів, наприклад, перетворення Уолша.

Прикладами методів фільтрації зображень у частотній області можуть служити низько- та високочастотна фільтрація. Метод високочастотної фільтрації дозволяє розв'язати завдання виділення меж, обробляючи зображення у частотній ділянці. Низькочастотну фільтрацію доцільно застосовувати для згладжування шуму зображення.

Оброблення зображення шляхом функціонального перетворення спектрів дозволяє значною мірою покращити зображення, зокрема і покращити суб'єктивне сприйняття відтвореного зображення.

Для підкреслення контурних елементів зображення можна використовувати підхід, що базується на просторовому диференціюванні зображення. Тут доцільно використовувати спектри просторових похідних. У процесі відновлення зображень за спектрами будуть виділені контури, відповідно, по вертикалі та горизонталі вихідного зображення. В результаті накладання відновлених зображень із наступною амплітудною фільтрацією завдання виділення контурів контрастних зображень реалізується програмно і вирішується досить успішно.

Порівняно з обраним підходом для підкреслення контурних елементів зображення, наприклад семантичні методи виділення контурів, значно поступаються швидкодії і є значною мірою "слабко визначеними".

Висновки

Здешевлення дронів і зниження операційних витрат на їхнє використання може забезпечити стрімке зростання популярності безпілотних літальних апаратів у транспортній інфраструктурі. Крім того, привабливість дронів зростатиме й за рахунок нових досягнень у технологіях, що дозволяють покращити експлуатаційні характеристики та можливості безпілотників, тим самим суттєво розширюючи сферу їхнього застосування. Безпілотні технології демонструють, що це потужний інструмент у різних прикладних галузях. Безперечно, широке застосування можливостей, що відкриваються завдяки цим технологіям, зможе суттєво підвищити якість процесів за рахунок високої точності, простоти і користності.

Методи оброблення зображень відіграють значну роль у наукових дослідженнях. Зокрема, доцільне застосування цих методів під час цифрової передачі зображень із відеокамери дрону.

До результатів проведеної роботи належать такі:

- розроблено алгоритми попереднього оброблення зображень у просторово-часовій області, такі як алгоритми підвищення контрастності, видалення фону, амплітудної фільтрації зображень;



▪ на підставі алгоритму швидкого перетворення Фур'є розроблено алгоритми частотної фільтрації, виділення контурів, функціонального перетворення спектрів, що дозволяють розв'язувати завдання попереднього оброблення зображень у частотній області.

Саме комбінований підхід до цифрового оброблення зображень у просторово-часовій і частотній областях продемонстрував максимально задовільні результати під час аналізу даних.

Перспективи подальшого дослідження. Нині одним із найцікавіших напрямків є впровадження в безпілотні літальні системи технології машинного навчання (Alpaydin, 2004). Зараз більшість операцій оброблення й аналізування даних виконують під контролем людини. Проте цей процес можна вдосконалити, навчивши машини виконувати ці завдання самостійно (Witten, & Frank, 2011). Застосувавши у дронах механізм глибинного навчання, можна скоротити час і витрати на оброблення, інтеграцію та аналіз даних, зібраних під час огляду. У найближчому майбутньому дрони виконуватимуть автономні польоти в задані локації, збиратимуть дані про об'єкти інфраструктури, після чого складні програми на базі алгоритмів навчання їх аналізуватимуть і передаватимуть операторам, попереджуючи про пошкодження чи підозрілу діяльність. Завдяки широкому набору функцій безпілотні літальні апарати з кожним днем відіграватимуть усе важливішу роль у розвитку та вдосконаленні саме транспортної інфраструктури.

Внесок авторів: Валентина Плескач – розроблення методів і методології дослідження, опис результатів; Ярослав Криволапов – огляд літературних джерел і написання висновків; Гліб Криволапов – розроблення та монтаж експериментального зразка та збір емпіричних даних.

Список використаних джерел

- Alpaydin, E. (2004). *Introduction to Machine Learning*. MIT Press.
Kumar, M., Kumar, N., & Sreenivas, T. H. (2015). Autonomous Navigation of Flying Quadcopter. *International Journal IJRITCC*, 3(6), 3633–3634.
Lum, C., W., Gauksheim, K., Deseure, C., Vagners, J., & McGeer, T. (2011). Assessing and estimating risk of operating unmanned aerial systems in populated areas. *Proceedings of the 11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference* (p.1–12). Virginia Beach.
Piotrowski, P., Witkowski, T., & Piotrowski, R. (2015). Unmanned remote-controlled flying unit. *Measurement Automation and Robotics*, (19), 49–55.
Scheding, S., & Finn, A. (2010). *Developments and challenges for autonomous unmanned vehicles: A compendium s. 1*. Springer Sci & Business.
Shah, K. N., Dutt, B. J., & Modh, H. (2014). Quadrotor – An Unmanned Aerial Vehicle. *IJEDR*, 2 (1), 1299–1303.
Witten, I. H., & Frank, E. (2011). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.

References

- Alpaydin, E. (2004). *Introduction to Machine Learning*. MIT Press.
Kumar, M., Kumar, N., & Sreenivas, T. H. (2015). Autonomous Navigation of Flying Quadcopter. *International Journal IJRITCC*, 3(6), 3633–3634.
Lum, C., W., Gauksheim, K., Deseure, C., Vagners, J., & McGeer, T. (2011). Assessing and estimating risk of operating unmanned aerial systems in populated areas. *Proceedings of the 11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference* (p.1–12). Virginia Beach.
Piotrowski, P., Witkowski, T., & Piotrowski, R. (2015). Unmanned remote-controlled flying unit. *Measurement Automation and Robotics*, (19), 49–55.
Scheding, S., & Finn, A. (2010). *Developments and challenges for autonomous unmanned vehicles: A compendium s. 1*. Springer Sci & Business.
Shah, K. N., Dutt, B. J., & Modh, H. (2014). Quadrotor – An Unmanned Aerial Vehicle. *IJEDR*, 2 (1), 1299–1303.
Witten, I. H., & Frank, E. (2011). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.

Отримано редакцією журналу / Received: 28.11.22
Прорецензовано / Revised: 05.01.23
Схвалено до друку / Accepted: 11.01.23

Valentyna PLESKACH, DSc (Econ.), Prof.
ORCID ID: 0000-0003-0552-0972
e-mail: valentyna.pleskach@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Yaroslav KRYVOLAPOV, Assist.
ORCID ID: 0000-0003-1151-9337
e-mail: y.kryvolapov@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Hlib KRYVOLAPOV, Student
ORCID ID: 0000-0002-0853-5881
e-mail: kubg@kubg.edu.ua
Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University, Kyiv, Ukraine

THE USE OF DRONES IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Background. *The article is devoted to the real possibilities and prospects of creating and using unmanned aerial vehicles in road and railway infrastructures. As part of the conducted experiment, the task of creating a drone was set using the simplest means of development in laboratory conditions.*

Methods. *To assess the viability of the proposed solutions, the method of the natural experiment has been used.*

Results. *The drone created as a result of the experiment is able to automatically stabilize its position, and a receiver board can be installed on it, which will enable remote control. In the future, additional modules can be installed on the quadrocopter using the deep learning mechanism. And the use of an intelligent pattern detection and recognition system based on effective digital data processing algorithms will allow to significantly reduce the time for data processing, obtain more accurate results and ensure access to information in the shortest possible time, which will be another factor contributing to the active implementation of unmanned technologies.*

Conclusions. *Thanks to the ability to obtain various data, unmanned aerial vehicles will be able to significantly reduce the costs of solving various tasks in the near future and become indispensable assistants in the transport infrastructure sector.*

Keywords: *machine learning, transport infrastructure, unmanned aerial vehicle, drone, data processing and analysis.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



Альона ВОРОХ, магістрантка
ORCID ID: 0000-0001-9578-1847
e-mail: alyona.voroch@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ольга КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-9669-2579
e-mail: olha.kravchenko@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Дмитро СИВОГЛАЗ, асп.
ORCID ID: 0000-0002-6806-839X
dmytro.syvohlaz@chdtu.edu.ua
Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

АРХІТЕКТУРА ІОТ-ЕКОСИСТЕМИ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЦЕНТРУ ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ

Вступ. Досліджено використання ІоТ-технологій у сучасній медицині, насамперед в Україні. На основі розглянутих аналогів існуючих систем та з огляду на всю складність нинішньої ситуації, кількість людей, що потребують реабілітації, невпинно зростає, і таких центрів допомоги просто не вистачає. Навантаження на лікарів-реабілітологів збільшується. Як результат далеко не всі можуть отримати необхідну допомогу через нестачу спеціалістів – лікарів-реабілітологів. Унаслідок цього виникає потреба у створенні власної ІоТ-системи для автоматизації та оптимізації процесів лікування.

Методи. Використано методи аналізу, синтезу та проєктування складних систем.

Результати. Розроблено архітектуру ІоТ-екосистеми реабілітаційного центру відновлення після поранень, травм, нападів та операцій. Архітектура проєкту складається з тренажерів із датчиками та модулем Wi-Fi для передавання даних у хмару з базою даних і хмарними обчисленнями, після чого кінцевий користувач, тобто лікар, може отримувати доступ до цих даних за допомогою додатка, обробляти їх, відслідковувати показники та створювати можливості тренувань для кожного пацієнта. Зазначимо, що кожному пацієнту буде видана картка з RFI-міткою або ІоТ-маячком, за якою проходитиме ідентифікація пацієнта на кожному тренажері й налаштуватиметься відповідна програма, складена лікарем. І тоді відповідно показники стану конкретної людини передаватимуться в базу даних для відстеження їх лікарем.

Висновки. Упровадження запропонованих рішень дасть змогу значно підвищити якість надання медичної допомоги населенню України.

Ключові слова: архітектура ІоТ, екосистема реабілітаційного центру, тренажер, датчик, реабілітація.

Вступ

Сучасна медицина є однією з провідних галузей, де починають активно застосовувати новаторські рішення у сфері ІоТ. Інтернет речей – це технологія для взаємодії пристроїв одного з одним і зовнішнім середовищем. Програмні рішення – це комплексна система, що складається з датчиків, обладнання, каналів зв'язку та програмного забезпечення. У режимі реального часу відстежується робота різних систем, контролюються пристрої та об'єкти. У світовій сфері охорони здоров'я ІоТ дозволяє підвищувати ефективність лікування, проводити швидку діагностику захворювань, відслідковувати показники здоров'я пацієнта.

У режимі реального часу можна збирати дані з медичних пристроїв, які призначені для відстеження динаміки сну, серцевого ритму й інших фізіологічних параметрів. Щоб зрозуміти, що таке ІоТ у спрощеній побутовій версії, просто згадайте фітнес-трекери – простий браслет дозволяє вимірювати пульс, температуру тіла, серцевий ритм та інші показники.

За прогнозом Бюро перепису населення США, 2025 р. 1,2 млрд населення планети становитимуть люди похилого віку. Тому підтримка зв'язку з пацієнтами, перевірка стану їхнього здоров'я навіть на відстані стають основою ефективного лікування та профілактики захворювань (Kyivstar business hub, 2021).

Поява інтернету речей дозволяє змінювати ті технології та методи лікування, які формувалися десятки років тому. І для лікарів, і для пацієнтів, і для медичних закладів з'являються нові можливості (Kyivstar business hub, 2021).

Нині народ України спіткала дуже тяжка ситуація. Ніхто не міг і подумати, що у XXI ст. почнеться війна. Велика кількість народу постраждала під час бойових дій. До списку постраждалих входять не лише військові, а й велика кількість цивільного населення. Для відновлення фізичного здоров'я людей будуть широко затребувані лікарі-реабілітологи. На жаль, автоматизація реабілітаційних центрів не дуже поширена в Україні. Для автоматизації та прискорення процесу відновлення фізичного здоров'я людей виникає потреба у створенні реабілітаційного центру для постраждалих під час воєнних дій із використанням технології ІоТ.

З 2009 р. в усьому світі триває революція інтернету речей у сфері охорони здоров'я. Це почалося, коли США створили закон NITECH, який заохочував інтегрувати електронні медичні картки та доповнювати технології в секторі охорони здоров'я. Відтоді, Медичний ринок інтернету речей набув великої популярності, з такою значною кількістю ІТ-компаній, що є учасниками ринку і прагнуть домінувати або хоча б отримати невелику частку від пирога. Через 9 років, у 2017, вартість медичних пристроїв ІоТ, присутніх на ринку охорони здоров'я, становила \$56,1 млрд, і яка виросла до \$267,6 млрд у 2023 р. (рис. 1). Цифри будуть тільки зростати, оскільки це прогноз 2023 р., то це зростання пояснюється тим, що розмір ринку розширюється зі швидкістю зростання 30,2 % протягом 2018–2023 рр., що так само викликано зростаючим попитом у мережі інтернету речей у лікарнях та інших закладах охорони здоров'я. Приклади

© Ворох Альона, Кравченко Ольга, Сивоглаз Дмитро, 2023

інтернету медичних речей включають дистанційний моніторинг, передачу даних у режимі реального часу, серед багатьох інших технологій (MOKOSmart, 2021).

Популярний в Україні зараз застосунок Doctor Online, який можна встановити на Android, iOS для консультації з лікарями за допомогою мобільного зв'язку або відеовиклику. Пацієнт після реєстрації визначає симптоми, система підбирає йому список лікарів за профілем. Далі можна зв'язатися з будь-яким із них онлайн. Тут же можна отримувати направлення на аналізи, записуватися в лабораторію та забирати результати з розшифруванням. У застосунку є більше 60 напрямлень – від сімейного лікаря до кардіолога (Health fakty, 2022).



Рис. 1. Збільшення кількості IoT-пристроїв у медицині та прогнози (MOKOSmart, 2021)

Досягнення у сфері інтернету речей (Internet of Things, IoT) відкрили в медицині широке коло можливостей для покращення якості послуг. Сучасні медичні заклади використовують сенсори, розумні пристрої і програмне забезпечення проектів IoT для доступу до віддаленого моніторингу стану здоров'я, підрахунку обладнання й обліку медикаментів.

Напрямки впровадження рішень:

- моніторинг температури місць зберігання фармацевтичних засобів;
- моніторинг стану здоров'я;
- керування інцидентами;
- відстеження місцезнаходження предметів та обладнання.

З огляду на зазначене, у роботі пропонується, по-перше, провести аналіз можливостей застосування IoT-технологій у реабілітаційних центрах. По-друге, передбачено порівняти наявні подібні системи, що використовуються у медицині, дослідити статистичні показники постраждалих в Україні та, на основі цього, розробити архітектуру IoT-екосистеми реабілітаційного центру.

Постановка задачі. Через ситуацію у світі нині кількість людей, які мають проблеми з фізичним станом значно збільшилась. У реабілітації фізичного здоров'я людини головна роль належить лікарю-реабілітологу. Лікар має бути постійно присутнім, наглядати за показниками пацієнтів, налаштовувати програму тренажерів, але в результаті цього скорочується значна кількість пацієнтів, яка могла б проходити тренування одночасно, і витрачається багато часу лікаря. Тому процес відновлення фізичних можливостей потребує автоматизації.

Статистика війни вражає: уже понад 6,4 млн українських родин мають досвід проживання в окупації, 6 млн втратили заощадження або майно, 5,3 млн залишились без житла, а 1,1 млн родин зазнали голоду. Відомо, що майже 100 тис. осіб в Україні пережили смерть своїх близьких родичів або друзів.

Згідно з дослідженням понад 32 млн осіб постраждали безпосередньо або опосередковано від російських "визволителів", а це – 85 % населення України (Щоденний Львів, 2022).

За пів року бойових дій в Україні, станом на 22 серпня 2022 р. отримали поранення близько 7890 осіб мирного населення (BBC, 2022).

Кількість поранених серед військових значно більша. З огляду на те, що з початку бойових дій вже майже пройшло майже два роки, кількість постраждалих стала більшою і надалі збільшується. У результаті Україна потребує більше реабілітаційних центрів, щоб швидше відновити фізичний стан більшої кількості людей.

Задача полягає у проведенні аналізу можливостей застосування IoT-технологій у реабілітаційних центрах, здійсненні аналізу статистичних показників постраждалих в Україні та побудові архітектури IoT-екосистеми реабілітаційного центру.

Методи

За оснащення тренажерів необхідними датчиками, відбуватиметься збір даних життєво важливих показників стану пацієнта, щоб зробити реабілітацію якомога безпечнішою та автоматизованою.

Як бачимо, виникає необхідність оброблення зібраних даних за допомогою математичних методів.

Лінійна регресія – це основний і широко використовуваний тип прогнозного аналізу. Загальна ідея регресії полягає в тому, щоб дослідити дві речі: 1) – чи добре набір змінних пристрою передбачення справляється з прогнозуванням результатної (залежної) змінної; 2) які змінні є значущими прогнозами змінної результату і яким чином вони – позначаються величиною та ознакою бета-оцінки – впливають на змінну результату. Ці регресійні оцінки використовують для пояснення зв'язку між однією залежною змінною та однією або кількома незалежними змінними.

У випадку, коли ми маємо залежність цільової змінної від декількох параметрів, можемо говорити про множинну лінійну регресію. Множинну лінійну регресію визначають рівнянням вигляду

$$Y = \alpha + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n, \quad (1)$$

де X_i – параметри вибірки загальних показників фізичного стану пацієнта, α, β_i – константи рівняння.



Для визначення параметрів даного складеного рівняння використовують метод найменших квадратів. Тобто ми працюватимемо з параметризованою моделлю та намагатимемося знайти саме ту модель, яка дозволила б отримувати найточніші прогнози. У цій IoT-екосистемі її слід використовувати для наглядного представлення результату впливу кількості тренувань на загальний показник фізичного стану.

Результати

Початкові дані для отримання результатів наведено в таблиці. Припустимо, що X – вибірка загальних показників фізичного стану пацієнта, а, відповідно, Y – вибірка за кількістю тренувань (таблиця).

Таблиця

Вибіркові дані пари величин X та Y

X	1	5	10	15
Y	2	3	4	6

Спершу потрібно знайти середні значення вибірок:

$$X \text{ (середнє)} = (1 + 5 + 10 + 15) / 4 = 7,75;$$

$$Y \text{ (середнє)} = (2 + 3 + 4 + 6) / 4 = 3,75.$$

Знаходимо величини, які фігурують у формулі прямої регресії у вигляді коефіцієнтів рівняння alpha, beta:

$$\sum X_i Y_i = 1 \times 2 + 5 \times 3 + 4 \times 10 + 15 \times 6 = 147;$$

$$\sum X_i^2 = 1^2 + 5^2 + 10^2 + 15^2 = 561;$$

$$\sum Y_i^2 = 2^2 + 3^2 + 4^2 + 6^2 = 65.$$

Складові рівняння alpha, beta знаходимо за формулою

$$\alpha = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{1}{n} (\sum X_i) (\sum Y_i)}{\sum X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum X_i)^2} = \frac{147 - 31 \times 15/4}{351 - 31^2/4} = 0,2777;$$

$$\beta_1 = \bar{Y} - \alpha \bar{X} = 3,75 - 0,277 \times 7,75 = 1,59.$$

Рівняння регресії X на Y – це пряма такого вигляду (рис. 2):

$$Y = \alpha X + \beta = 1,59Y + 0,277.$$

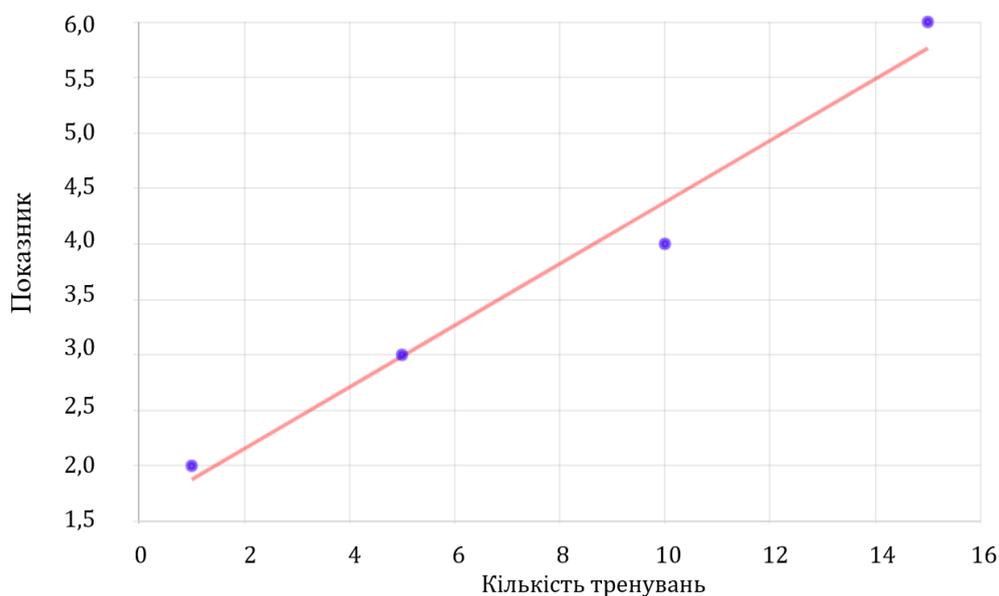


Рис. 2. Графік лінійної регресії

За знайденими коефіцієнтами складаємо рівняння регресії у на x :

$$Y = \alpha X + \beta = 1,59Y + 0,277.$$

Лінійну регресію належить використовувати для прогнозування необхідної кількості тренувань для пацієнта. Для цього потрібно провести хоча б два, але ще краще три тренування, відстежити показники основних критеріїв здоров'я, потім перевести ці показники в шкалу оцінки стану (від 1 до 10) і занести всі показники (за шкалою оцінки стану та кількості тренувань) у таблицю для розрахунків прогнозування.

Архітектура IoT-екосистеми реабілітаційного центру. До екосистеми інтернету речей належать усі засоби, сервіси і технології, які використовуються в інтернеті речей. Для реабілітаційного центру необхідно підібрати:

- **sensors** (розумні датчики/виконавчі механізми): вбудовані системи, операційні системи реального часу, джерела безперебійного живлення, мікроелектромеханічні системи (MEMS);
- **системи зв'язку з датчиками:** зона охоплення бездротових персональних мереж становить від 0 см до 100 м. Для обміну даними між датчиками застосовують низькошвидкісні малопотужні інформаційні канали, які часто побудовано не за протоколом IP;
 - **локальні обчислювальні мережі (LAN):** зазвичай це системи обміну даними на основі протоколу IP, наприклад, 802.11 Wi-Fi-мережі для швидкого радіозв'язку, часто це пірінгові або зіркоподібні мережі;
 - **агрегатори, маршрутизатори (routers), шлюзи (gateways), прикордонні пристрої (Edge Device):** постачальники вбудованих систем, самі бюджетні складові (процесори, динамічна оперативна пам'ять і система зберігання даних), виробники модулів, виробники пасивних компонентів, виробники тонких клієнтів, виробники стільникових і бездротових радіосистем, постачальники міжплатформного програмного забезпечення, розробники інфраструктури туманних обчислень, інструментарій для граничної аналітики, безпеки граничних пристроїв і системи керування сертифікатами;
 - **глобальна обчислювальна мережа:** оператори стільникового зв'язку, оператори супутникового зв'язку, оператори малопотужних глобальних мереж (Low- Power Wide-Area Network, LPWAN). Зазвичай застосовують транспортні протоколи інтернету для IoT і мережних пристроїв (MQTT, CoAP і навіть HTTP);
 - **хмара:** інфраструктура як постачальник послуг, платформа як постачальник послуг, розробники баз даних, постачальники послуг потокового і пакетного оброблення даних, інструменти для аналізу даних, програмне забезпечення як постачальник послуг, постачальники озер даних, оператори програмно-визначених мереж / програмно-визначених периметрів, сервіси машинного навчання;
 - **сервіси аналізу даних:** величезні масиви інформації передають у хмару. Робота з великими обсягами даних і отримання з них користі – це завдання, що вимагає комплексного оброблення подій, аналітики і прийомів машинного навчання;
 - **безпека (security):** у процесі зведення всіх елементів архітектури воедино постають питання кібербезпеки. Безпека стосується кожного компонента: від датчиків фізичних величин до ЦПУ і цифрового апаратного забезпечення, систем радіозв'язку і самих протоколів передавання даних. На кожному рівні необхідно забезпечити безпеку, достовірність і цілісність. У цьому ланцюзі не має бути слабких ланок, оскільки інтернет речей стане головною мішенню для атак хакерів у світі (Технології індустрії 4.0., 2021).

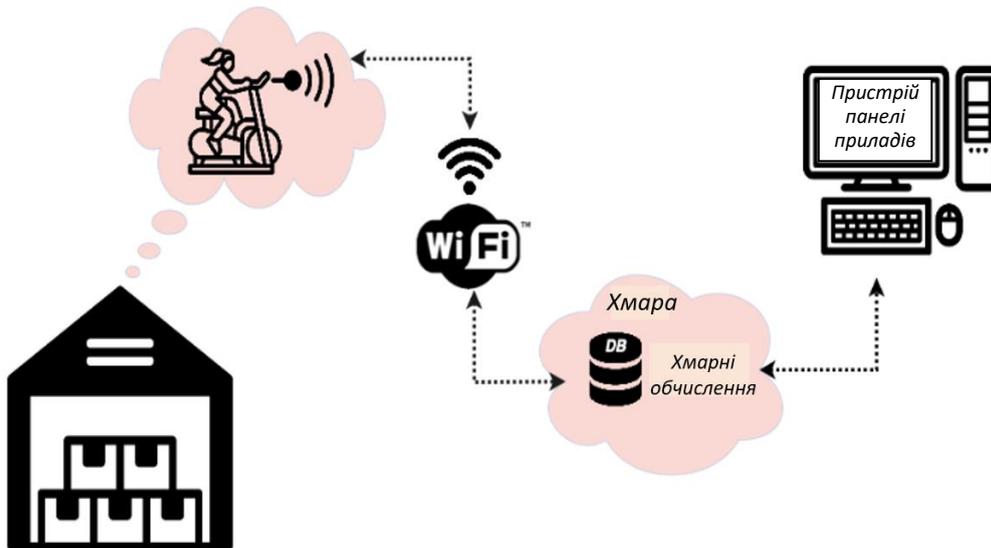


Рис. 3. Збільшення кількості IoT-пристроїв у медицині та прогнози (MOKOSmart, 2021)

Архітектура проекту складається з тренажерів із датчиками та модулем Wi-Fi для передавання даних у хмару з базою даних, після чого кінцевий користувач, тобто лікар, може отримувати доступ до цих даних, обробляти їх, відслідковувати показники та вносити план тренувань для кожного пацієнта (рис. 3).

Слід зазначити, що кожному пацієнту буде видана картка з RFI-міткою, за якою проходитиме ідентифікація пацієнта на кожному тренажері і налаштовуватиметься відповідна програма, встановлена лікарем. Тоді відповідно показники стану конкретної людини передаватимуться в базу даних для відстеження їх лікарем. Проведено дослідження необхідності створення IoT-системи для реабілітаційного центру з відновлення опорно-рухового апарату.

Даними, які використовують у IoT-екосистемі, є кількість тренувань, що впливають на загальний показник фізичного стану хворого. Для розрахунку використано метод найменших квадратів.

Висновки

На думку авторів, розроблена архітектура може ефективно застосовуватися для передавання показників стану конкретної людини, відстеженням яких займається лікар, у базу даних. Автономний збір даних дозволить прискорити процес аналізу даних, що вплине на процес реабілітації пацієнтів.



Внесок авторів: Альона Ворох – огляд літературних джерел та написання висновків; Ольга Кравченко – опрацювання методів і методології дослідження, опис результатів; Дмитро Сивоглаз – розроблення архітектури системи та проведення емпіричних досліджень.

Список використаних джерел

- Технології індустрії 4.0 (2021). *Основи інтернету речей*. <http://edu.asu.in.ua/mod/book/view.php?id=112&chapterid=229>
- Щоденний Львів (2022). *Трагічна статистика війни: 100 тис людей в Україні пережили смерть близьких родичів або друзів – дослідження* (відео). <https://dailylviv.com/news/sytuatsiyi-i-pryhody/trahichna-statystyka-viiny-maizhe-100-tys-lyudei-v-ukraini-perezhyly-smert-blyzkykh-rodychiv-abo-druziv/-doslidzhennya-104201>
- BBC (2022). *Пів року війни Росії проти України у 10 цифрах*. <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62610639>
- Health fakty (2022). *Вони вижили і мусять жити на повну! Лікарі без кордонів – про те, якою має бути реабілітація наших героїв*. <https://health.fakty.com.ua/ua/napulsi/vony-vyzhyly-i-musyaty-zhyty-na-povnu-likari-bez-kordoniv-pro-te-yakoyu-maye-buty-reabilitacziya-nashyh-geroyiv>
- Kyivstar business hub. (2021). *IoT у медицині: від теорії до реальних кейсів*. <https://hub.kyivstar.ua/news/iot-u-medycyni-vid-teoriyi-do-realnyh-kejsiv>
- MOKOSmart (2021). *Ознайомтеся з нашими пристроями IoT*. <https://www.mokosmart.com/uk>

References

- BBC (2022). *Half-a-Year of War of Russia against Ukraine in ten Numbers*. <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62610639> [in Ukrainian].
- Daily L'viv (2022). *Tragic War Statistics: 100 Thousand People in Ukraine Survived the Death of Close Relatives or Friends – Research (Video)*. <https://dailylviv.com/news/sytuatsiyi-i-pryhody/trahichna-statystyka-viiny-maizhe-100-tys-lyudei-v-ukraini-perezhyly-smert-blyzkykh-rodychiv-abo-druziv/-doslidzhennya-104201> [in Ukrainian].
- Health fakty (2022). *They Survived and Should Live Fully-blown Life! Doctors without Borders – on that What Kind of Rehabilitation Our Heroes Should Have*. <https://health.fakty.com.ua/ua/napulsi/vony-vyzhyly-i-musyaty-zhyty-na-povnu-likari-bez-kordoniv-pro-te-yakoyu-maye-buty-reabilitacziya-nashyh-geroyiv> [in Ukrainian].
- Kyivstar business hub. (2021). *IoT in Medicine: From Theory to Real Cases*. <https://hub.kyivstar.ua/news/iot-u-medycyni-vid-teoriyi-do-realnyh-kejsiv> [in Ukrainian].
- MOKOSmart (2021). *Get Acquainted with our IoT Devices*. <https://www.mokosmart.com/uk> [in Ukrainian].
- Technology of the Industry 4.0. (2021). *Internet of Things Foundations*. <http://edu.asu.in.ua/mod/book/view.php?id=112&chapterid=229> [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 22.02.23

Прорецензовано / Revised: 03.03.23

Схвалено до друку / Accepted: 10.03.23

Alyona VOROCH, Master's Student

ORCID ID: 0000-0001-9578-1847

e-mail: alyona.voroch@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Olha KRAVCHENKO, PhD (Engin.), Assoc. Prof.

ORCID ID: 0000-0002-9669-2579

e-mail: olha.kravchenko@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Dmytro SYVOHLAZ, PhD Student

ORCID ID: 0000-0002-6806-839X

e-mail: dmytro.syvohlaz@chdtu.edu.ua

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

THE ARCHITECTURE OF THE IoT ECOSYSTEM OF THE REHABILITATION CENTER FOR THE RESTORATION OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM

Background. A study of the use of IoT technologies in modern medicine, primarily in Ukraine, was conducted. Based on the analogs of the existing systems considered, taking into account the entire complex situation, the number of people in need of rehabilitation is only increasing, and there are simply not enough centers for such assistance. Rehabilitation doctors spend a lot of their time, while not everyone can get the necessary help due to the lack of specialists. As a result, there is a need to create your own IoT system to automate and optimize treatment processes.

Methods. Methods of analysis, synthesis and complex systems design are employed in the research.

Results. The architecture of the IoT ecosystem of the rehabilitation center for recovery after injuries, traumas, assaults and operations was developed. The project architecture consists of simulators with sensors and a Wi-Fi module for data transmission to the cloud with a database and cloud computing. The end user, i. e. the doctor, can access this data through the app, process it, monitor performance and enter a training plan for each patient. It should be noted that each patient will be issued a card with an RFI tag or an IoT beacon. The card identifies the patient on each simulator. The simulator is adjusted according to the indicators. The indicators of a specific person's condition are transferred to a database for tracking by a doctor.

Conclusions. Implementation of the proposed solutions is expected to allow one to substantially increase the quality of medical treatment provision to the population in Ukraine.

Keywords: IoT architecture, rehabilitation center ecosystem, fitness bench, transducer, rehabilitation.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



ОПТИМІЗАЦІЯ ОДНОПРОЦЕСОРНОГО ОБРОБЛЕННЯ МУЛЬТИЗАПИТІВ

Вступ. Розглянуто ефективність виконання мультизапиту в базах даних однопроцесорної обчислювальної системи. Одним із методів збільшення продуктивності баз даних обчислювальних систем є одночасне виконання кількох запитів, що утворюють мультизапит.

Методи. Використано методи аналізу і критеріальної оптимізації.

Результати. Проаналізовано оброблення кон'юнктивного мультизапиту (запити сформовано кон'юнкцією елементарних запитів, з яких ряд елементарних запитів повторно входять у запити). Оскільки зростає важливість оперативного аналітичного оброблення даних, то техніка складніших оптимізацій запитів стала вирішальною. Щоб бути ефективними, оптимізатори мають адаптуватися до нових операторів, змін у методах оцінювання вартості тощо. Як критерій оптимізації мультизапитів зазвичай використовують час виконання запиту, причому розділяють час, що витрачається на роботу з даними, що містяться в оперативній, буферній і зовнішній пам'яті. Запропоновано план оптимізації за часом виконання кон'юнктивного мультизапиту у разі звернення до бази даних на основі упорядкування елементарних запитів. Розглянуто два способи виконання кон'юнктивного мультизапиту: незалежно один від одного і спільно для неупорядкованих і упорядкованих даних. Показано, що час виконання кон'юнктивного мультизапиту за спільного оброблення не завжди менший ніж час за незалежного оброблення. Доведено умови, за яких спільне оброблення кон'юнктивного мультизапиту забезпечує не більший час виконання порівняно з незалежним обробленням.

Висновки. Впровадження запропонованої процедури оптимізації дозволить підвищити ефективність однопроцесорних обчислювальних систем, що обслуговують бази даних.

Ключові слова: оптимізація; запит; мультизапит; незалежне, спільне оброблення; критерій; час; неупорядковані, упорядковані дані; база даних; продуктивність.

Вступ

Проблемі оптимізації виконання мультизапиту у разі звернення до бази даних присвячено велику кількість публікацій. Як критерій оптимізації мультизапитів зазвичай використовують час виконання запиту, причому розділяють час, що витрачається на роботу з даними, які містяться в оперативній, буферній і зовнішній пам'яті. Додатковими умовами є обсяг пам'яті, кількість процесорів тощо, які часто задають у вигляді обмежень.

В роботах (Cosar, Srivastava, & Shekhar, 1991; Shim, Sellis, & Nau, 1994; Sellis, 1988) сформульовано проблему багаторазової оптимізації запитів (MQO) як повну проблему оптимізації.

Авторами (Deshpande, Zaccary, & Vijayshankar, 2007; Chaudhuri, & Shim, 1994) визначено порядок знаходження мінімального часу виконання одного запиту в однопроцесорній обчислювальній системі відповідно до умови впорядкованості.

Основним дослідженням з оптимізації запитів є робота (Selinger et al., 1979). Ідеї, викладені в цій статті, покладено в основу більшості досліджень з оптимізації.

Роботи (Tantsiura et al., 2019; Berkman et al., 2021) присвячені одному з етапів процесу моделювання – оптимізації параметрів систем.

Однак через зростаючу важливість оперативного аналітичного оброблення даних техніка складніших оптимізацій запитів стала вирішальною. Щоб бути ефективними, оптимізатори мають адаптуватися до нових операторів, змін у методах оцінювання вартості тощо.

Постановка задачі. Нехай безліч запитів $Z_i, i = 1, n$, утворюють мультизапит, зазначимо, що запити Z_i сформовано кон'юнкцією елементарних запитів, з яких ряд елементарних запитів повторно входять у запити Z_i . Назвемо такий мультизапит кон'юнктивним мультизапитом. Потрібно визначити процедуру оброблення мультизапитів, яка забезпечує найменший час виконання певної фіксованої кількості запитів.

Методи

В роботі використовуються методи аналізу складних процесів оброблення запитів і розбиття цих процесів на окремі складові. Виграшу у продуктивності пропонується досягти за рахунок використання методів паралельного оброблення операцій. Це відомо як оброблення даних обчислювальних систем з одночасним виконанням кількох запитів, що утворюють мультизапит.

Результати

Розглянемо ефективність виконання мультизапиту в базах даних однопроцесорної обчислювальної системи.

Незалежне і спільне оброблення запитів мультизапиту. Мінімальний час виконання одного запиту в однопроцесорній обчислювальній системі визначають відповідно до умови впорядкованості (Cosar, Srivastava, & Shekhar, 1991; Deshpande, Zaccary, & Vijayshankar, 2007):

- для неупорядкованих стовпців таблиці співвідношенням

$$T_{\min \text{ ну}} = n(\tau_1 + \sum_{i=2}^k \tau_i \prod_{j=1}^{i-1} p_j)$$

під час виконання елементарних запитів у порядку, визначеному умовою $\frac{\tau_i}{1-p_i} < \frac{\tau_{i+1}}{1-p_{i+1}}, 1, k-1$;

© Ткаченко Ольга, Голубенко Олександр, 2023



- для упорядкованих стовпців таблиці співвідношенням:

$$T_{\min \text{ уп}} = n(\sum_{i=2}^k \tau_i \prod_{j=1}^{i-1} p_j)$$

за виконання елементарних запитів у порядку, визначеному умовою

$$\frac{p_j \tau_i}{1-p_i} < \frac{p_{j+1} \tau_{i+1}}{1-p_{i+1}}, \quad i = \overline{1, k-1},$$

де n – кількість рядків таблиці бази даних, k – кількість стовпців таблиці, τ_i – час оброблення i -го елементарного запиту EZ_i для одного рядка таблиці, p_i – імовірність успіху в обробленні i -го елементарного запиту EZ_i для одного рядка таблиці (дані одного рядка таблиці відповідають умові, заданій елементарним запитом EZ_i).

Кон'юнктивний мультизапит може виконуватися двома способами: незалежно один від одного і спільно, коли виділяються підмножини елементарних запитів, що збігаються. Ці підмножини обробляють в першу чергу з метою зменшення сумарної кількості елементарних запитів.

Алгоритм формування плану спільного оброблення кон'юнктивного мультизапиту. Існує завдання визначення часу виконання кон'юнктивного мультизапиту у разі незалежного і спільного оброблення з тим, щоб визначити метод оптимізації однопроцесорного оброблення мультизапитів, за якого досягається мінімальний час його виконання.

Продемонструємо це завдання на прикладі.

Час виконання мультизапиту (2 запити)

Нехай параметри елементарних запитів задано у вигляді

$$\tau_i = a_{i-1}, \quad p_i = p, \quad i = \overline{1, k}.$$

Нехай кон'юнктивний мультизапит створює два запити: Z_1 та Z_2 :

- $Z_1 = EZ_2 \& EZ_3 \& \dots \& EZ_k,$
- $Z_2 = EZ_1 \& EZ_k.$

Неупорядковані дані для мультизапиту (2 запити)

Нехай дані в стовпцях таблиці даних неупорядковані.

За незалежного оброблення запитів загальний час їхнього виконання:

$$T_{\text{нез}} = T_{Z_1} + T_{Z_2} = n((a + pa^2 + p^2a^3 + \dots + p^{k-2}a^{k-1}) + (1pa^{k-1})) = n(1pa^{k-1} + \frac{a(1-(pa)^{k-1})}{1-pa}).$$

За спільного оброблення запитів перетин запитів Z_1 та Z_2 ($Z_1 \cap Z_2$) дає підмножину $EZ_k = a^{k-1}$, в результаті порядок оброблення елементарних запитів має вигляд:

- для запиту Z_1 : $EZ_k, EZ_2, EZ_3, \dots, EZ_{k-1},$
- для запиту Z_2 : $EZ_k, EZ_1.$

Оскільки час оброблення елементарного запиту EZ_k враховують один раз, то час спільного оброблення запитів Z_1 та Z_2 такий:

$$T_{\text{сум}} = n(a^{k-1} + (pa + p^2a^2 + \dots + p^{k-2}a^{k-2}) + (p*1)) = n(a^{k-1} + p + \frac{1-(pa)^{k-1}}{1-pa} - 1).$$

Спільне оброблення краще незалежного, якщо воно забезпечує мінімальний час виконання, тобто, якщо справедлива нерівність

$$1 + pa^{k-1} + a \frac{1-(pa)^{k-1}}{1-pa} > a^{k-1} + (p-1) + \frac{1-(pa)^{k-1}}{1-pa}.$$

Інакше

$$(2-p) + (a-1) \frac{1-(pa)^{k-1}}{1-pa} > (1-p)a^{k-1}. \quad (1)$$

Розглянемо ряд значень параметрів k та a .

1. Нехай $k = 12, a = 1,1$, тоді $a^{k-1} = 1,1^{11} = 2,853$, тому нерівність (1) виконується при $p \geq 0,4$.
2. Нехай $k = 12, a = 1,15$, тоді $a^{k-1} = 1,15^{11} = 4,6524$, тому нерівність (1) виконується при $p \geq 0,7$.

Результати виконання мультизапиту наведено в табл. 1 і на рис. 1.

Таблиця 1

Результати виконання мультизапиту

	$k = 12$			
	$a = 1,1$		$a = 1,15$	
	$T_{\text{нез}}$	$T_{\text{сум}}$	$T_{\text{нез}}$	$T_{\text{сум}}$
0,1	2,0124	2,5678	2,0695	4,1872
0,2	1,9282	2,2825	1,9948	3,7219
0,3	1,8493	1,9972	1,9290	3,2567
0,4	1,7786	1,7119	1,8777	2,7914
0,5	1,7219	1,4266	1,8521	2,3262
0,6	1,6911	1,1412	1,8757	1,8610
0,7	1,7103	0,8559	1,9985	1,3957
0,8	1,8291	0,5706	2,3257	0,9305
0,9	2,1466	0,2853	3,0713	0,4652

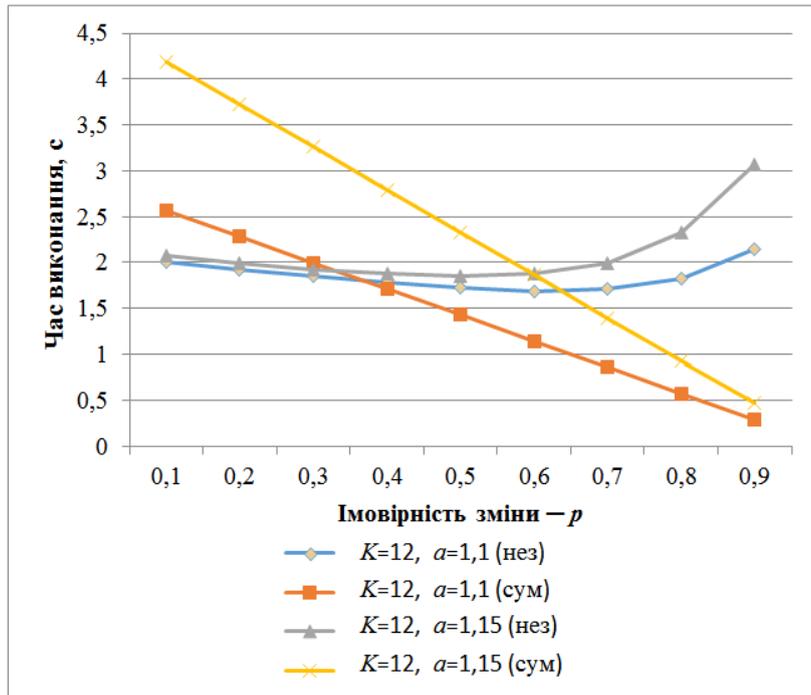


Рис. 1. Незалежне і спільне оброблення запитів мультizaпиту для неупорядкованої таблиці

Впорядковані дані для мультizaпиту (2 запити)

Нехай дані в стовпцях таблиці даних упорядковані. Зазначимо, що в силу $p_i = p, i = \overline{1, k}$ порядок виконання елементарних запитів збігається для упорядкованих і неупорядкованих даних (Chaudhuri, & Shim, 1994).

У разі незалежного оброблення запитів загальний час їхнього виконання буде

$$T_{\text{нез}} = T_{z_1} + T_{z_2} = n(pa + (p^2 a^2 + p^3 a^3 + \dots + p^{k-1} a^{k-1}) + (p^1 + p^2 a^{k-1})) = n(p + p^2 a^{k-1} + pa \frac{1 - (pa)^{k-1}}{1 - pa} - p).$$

Час спільного оброблення запитів z_1 та z_2 такий:

$$T_{\text{сум}} = n(pa^{k-1} + (p^2 a + p^3 a^2 + \dots + p^{k-1} a^{k-2}) + (p^2 * 1)) = n(pa^{k-1} + p^2 + p \frac{1 - (pa)^{k-1}}{1 - pa} - p).$$

Спільне оброблення є кращим за незалежне, якщо воно забезпечує мінімальний час виконання, тобто, якщо справедлива нерівність

$$p + p^2 a^{k-1} + pa \frac{1 - (pa)^{k-1}}{1 - pa} > pa^{k-1} + p^2 + p \frac{1 - (pa)^{k-1}}{1 - pa} - p.$$

Очевидно, що ця нерівність збігається з нерівністю (1).

Отже, спільне оброблення кон'юнктивного мультizaпиту згідно з прикладом краще, ніж незалежне його оброблення для $k = 12, a = 1,1$ при $p \geq 0,4$ і для $k = 12, a = 1,15$ при $p \geq 0,7$; зауважимо, що упорядкованість і неупорядкованість даних не має значення.

Результати виконання мультizaпиту наведено в табл. 2 і на рис. 2.

Таблиця 2

Результати виконання мультizaпиту				
	k = 12			
	a = 1,1		a = 1,15	
	T _{нез}	T _{сум}	T _{нез}	T _{сум}
0,1	0,2521	0,4077	0,2765	0,5882
0,2	0,5962	0,8670	0,6848	1,2302
0,3	1,0493	1,3937	1,2454	1,9437
0,4	1,6421	2,0154	1,9961	2,7616
0,5	2,4338	2,7861	3,0130	3,7500
0,6	3,5482	3,8183	4,4631	5,0543
0,7	5,2570	5,3590	6,7281	7,0062
0,8	8,1621	7,9553	10,6817	10,3655
0,9	13,5725	12,7974	18,2704	16,8249

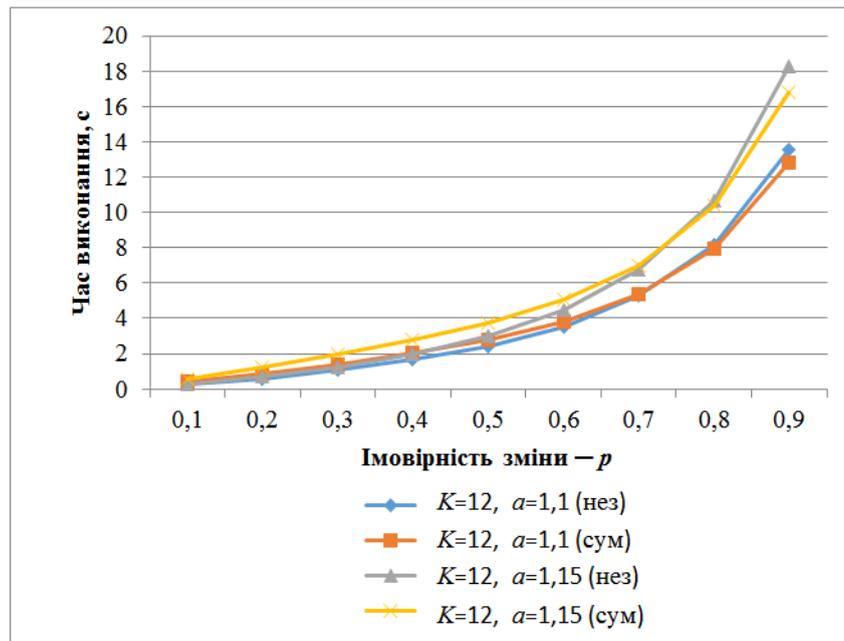


Рис. 2. Незалежне і спільне оброблення запитів мультизапиту (2 запити) для впорядкованої таблиці

Час виконання мультизапиту (3 запити)

Нехай $k = 5$ із параметрами елементарних запитів $\tau_i, \tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \tau_4 < \tau_5, p_i = p, i = \overline{1, k}$.

Нехай кон'юнктивний мультизапит утворюється трьома запитами:

- $Z_1 = E_{Z_1} \& E_{Z_4} \& E_{Z_5}$,
- $Z_2 = E_{Z_2} \& E_{Z_4} \& E_{Z_5}$,
- $Z_3 = E_{Z_3} \& E_{Z_5}$.

Неупорядковані дані для мультизапиту (3 запити)

Нехай дані у стовпцях таблиці даних не впорядковані. Очевидно, що в цьому випадку виконується умова впорядкованості (Cosar, Srivastava, & Shekhar, 1991).

Час виконання кон'юнктивного мультизапиту у разі незалежного оброблення дорівнює сумі часів оброблення запитів Z_1, Z_2 та Z_3 :

$$T_{нез} = n((\tau_1 + p\tau_4 + p^2\tau_5) + (\tau_2 + p\tau_4 + p^2\tau_5) + (\tau_3 + p\tau_5)) = n(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 2\tau_4 + (2p^2 + p)\tau_5).$$

Можливий порядок оброблення під час спільного оброблення елементарних запитів, представлений графом 1 (рис. 3) і графом 2 (рис. 4). Для графа 1 елементарний запит E_{Z_5} входить в усі 3 запити, першим виконується цей елементарний запит. Елементарний E_{Z_4} входить у запит Z_1 і в запит Z_2 , другим виконується елементарний запит E_{Z_4} .

Для графа 2 елементарний запит E_{Z_4} входить у запит Z_1 і в запит Z_2 , і першим виконуватимемо цей елементарний запит. Потім для запитів Z_1 і Z_2 виконуватимемо елементарний запит E_{Z_5} .

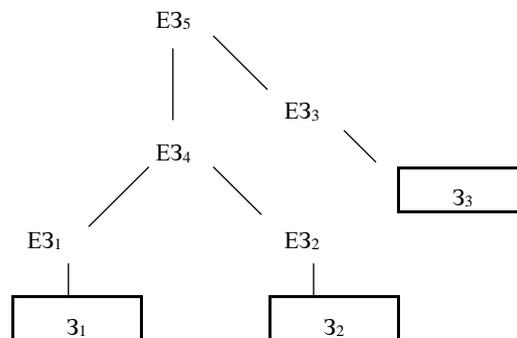


Рис. 3. Порядок оброблення під час спільного оброблення елементарних запитів (варіант 1)

Запишемо час виконання кон'юнктивного мультизапиту у разі спільного оброблення відповідно до графа на рис. 3 :

$$T_{сум} = n(\tau_5 + p\tau_4 + p^2\tau_1 + p^2\tau_2 + p\tau_3).$$



Спільне оброблення краще незалежного, якщо справедлива нерівність

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 2p\tau_4 + (2p^2 + p)\tau_5 > \tau_5 + p\tau_4 + p^2\tau_1 + p^2\tau_2 + p\tau_3,$$

інакше

$$(1-p^2)\tau_1 + (1-p^2)\tau_2 + (1-p)\tau_3 + p\tau_4 > \tau_5 (1-p-2p^2). \quad (3)$$

З нерівності (3) випливає, що спільне оброблення краще незалежного:

- 1) для p , що прагне до 0 при $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 > \tau_5$,
- 2) для $p \geq 1/2$ при будь-яких $\tau_i, i = \overline{1,5}$, але при заданій умові $\tau_i, \tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \tau_4 < \tau_5$.

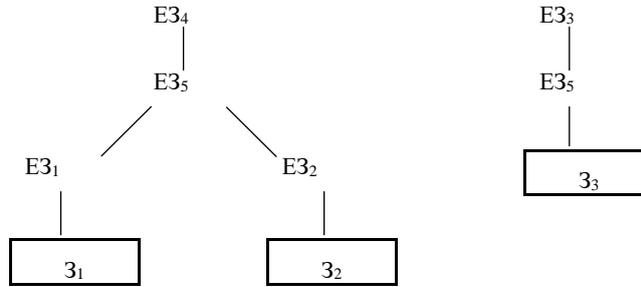


Рис. 4. Порядок оброблення під час спільного оброблення елементарних запитів (варіант 2)

Однак, наприклад, при $p = 1/4$ незалежне оброблення краще спільного у разі виконання нерівності

$$15\tau_1 + 15\tau_2 + 12\tau_3 + 4\tau_4 < 10\tau_5,$$

яка справедлива, зокрема, для значень $\tau_1 = 1, \tau_2 = 1.1, \tau_3 = 1.2, \tau_4 = 1.3, \tau_5 = 5.2$.

Час виконання кон'юнктивного мультизапиту у разі спільного оброблення відповідно до графа на рис. 4:

$$T_{\text{сум}} = n(\tau_4 + p\tau_5 + p^2\tau_1 + p^2\tau_2 + \tau_3 + p\tau_5).$$

Спільне оброблення краще незалежного, якщо справедлива нерівність

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 2p\tau_4 + (2p^2 + p)\tau_5 > \tau_4 + p\tau_5 + p^2\tau_1 + p^2\tau_2 + \tau_3 + p\tau_5,$$

інакше

$$(1-p^2)\tau_1 + (1-p^2)\tau_2 + 2p^2\tau_5 > \tau_4 (1-2p). \quad (4)$$

З нерівності (4) випливає, що спільне оброблення краще незалежного:

- 1) для p , що прагне до 0 при $\tau_1 + \tau_2 > \tau_4$,
- 2) для $p \geq 1/2$ при будь-яких $\tau_i, i = \overline{1,5}$, але при заданій умові $\tau_i, \tau_1 < \tau_2 < \tau_3 < \tau_4 < \tau_5$.

Однак, незалежне оброблення краще спільного, наприклад, при для $p \geq 1/4$ у разі виконання нерівності $15\tau_1 + 15\tau_2 + 2\tau_5 < 8\tau_4$, яке справедливе, зокрема, для значень $\tau_1 = 1; \tau_2 = 1,1; 1,1 < \tau_3 < 5,5; \tau_4 = 5,5; \tau_5 = 5,6$.

Упорядковані дані для мультизапиту (3 запити)

Нехай дані в стовпцях таблиці впорядковані. Очевидно, що в цьому випадку виконуються умови упорядкованості (Cosar, Srivastava, & Shekhar, 1991; Deshpande, Zacchary, & Vijayshankar, 2007). Зазначимо, що в силу $p_i = p, i = \overline{1, k}$, порядок виконання елементарних запитів збігається для упорядкованих і неупорядкованих даних (Shim, Sellis, & Nau, 1994).

Час виконання кон'юнктивного мультизапиту у разі незалежного оброблення дорівнює сумі часів оброблення запитів $3_1, 3_2$ та 3_3 :

$$T_{\text{нез}} = n(p((\tau_1 + p\tau_4 + p^2\tau_5) + (\tau_2 + p\tau_4 + p^2\tau_5) + (\tau_3 + p\tau_5))) = n(p(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 2p\tau_4 + (2p^2 + p)\tau_5)).$$

Подамо час виконання кон'юнктивного мультизапиту за спільного оброблення відповідно до графа на рис. 3:

$$T_{\text{сум}} = n(p((\tau_5 + p\tau_4 + p^2\tau_1 + p^2\tau_2 + p\tau_3))).$$

Спільне оброблення краще незалежного, якщо справедлива нерівність (3).

Час виконання кон'юнктивного мультизапиту у разі спільного оброблення відповідно до графа на рис. 4:

$$T_{\text{сум}} = n(p(\tau_4 + p\tau_5 + p^2\tau_1 + p^2\tau_2 + \tau_3 + p\tau_5)).$$

Спільне оброблення краще незалежного, якщо справедлива нерівність (4). Числові умови, коли спільне оброблення краще незалежного, наведено вище.

Отже, умови переваги (забезпечення меншого часу) спільного оброблення кон'юнктивного мультизапиту прикладу № 2 щодо незалежного оброблення збігаються для впорядкованих і неупорядкованих даних.

Висновки

Запропоновано план оптимізації за часом виконання кон'юнктивного мультизапиту у разі звернення до бази даних на основі упорядкування елементарних запитів.

Розглянуто два способи виконання кон'юнктивного мультизапиту: незалежно один від одного і спільно для неупорядкованих і впорядкованих даних.



Показано, що час виконання кон'юнктивного мультизапиту за спільного оброблення не завжди менший ніж за незалежного оброблення. Доведено умови, за яких спільне оброблення кон'юнктивного мультизапиту забезпечує не більший час виконання щодо незалежного оброблення.

Внесок авторів: Ольга Ткаченко – розроблення методів і методології дослідження, опис процедур виконання мультизапитів і написання висновків; Олександр Голубенко – огляд літературних джерел, збір емпіричних даних і розрахунок ефективності процедур.

Список використаних джерел

- Berkman, L., Tkachenko, O., Turovsky, O., Fokin, V., & Strelnikov, V. (2021). Designing a System To Synchronize the Input Signal in a Telecommunication Network Under the Condition for Reducing a Transitional Component of the Phase Error. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(9), 66–76.
- Chaudhuri, S., & Shim, K. (1994). Including Group-By in Query Optimization. *In Proc. of VLDB*. Santiago.
- Cosar, A., Srivastava, J., & Shekhar, S. (1991). On the multiple pattern multiple object (MPMO) match problem. *International Conference on Management of Data*. India. Society for Data Science.
- Deshpande, A., Zachary, I., & Vijayshankar, R. (2007). Adaptive Query Processing. *Foundations and Trends in Databases*, 1(1), 1–140.
- Selinger, P., Astrahan, M. M., Chamberl, D. D., Lorie, R. A., & Price, T. G. (1979). Access path selection in a relational database management system. *In ACM SIGMOD Intl. Conf. on Management of Data* (p. 23–34). Association for Computing Machinery.
- Sellis, T. (1988). Multiple query optimization, *ACM Transactions on Database Systems*, 13(1), 23–52.
- Shim, K., Sellis, T., & Nau, D. (1994). Improvements on a heuristic algorithm for multiple-query optimization. *Data Knowl. Eng.*, 12 (2), 197–222.
- Tantsiura, A., Bondarchuk, A., Ilin, O., Melnyk, Yu., Tkachenko, O., & Storchak, K. (2019). The Image Models of Combined Correlation-Extreme Navigation System of Flying Robots. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8(4), 1012–1019.

References

- Berkman, L., Tkachenko, O., Turovsky, O., Fokin, V., & Strelnikov, V. (2021). Designing a System To Synchronize the Input Signal in a Telecommunication Network Under the Condition for Reducing a Transitional Component of the Phase Error. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(9), 66–76.
- Chaudhuri S., & Shim K. (1994). Including Group-By in Query Optimization. *In Proc. of VLDB*.
- Cosar, A., Srivastava, J., & Shekhar, S. (1991). On the multiple pattern multiple object (MPMO) match problem. *International Conference on Management of Data*. India. Society for Data Science.
- Deshpande, A., Zachary, I., & Vijayshankar, R. (2007). Adaptive Query Processing. *Foundations and Trends in Databases*, 1(1), 1–140.
- Selinger, P., Astrahan, M. M., Chamberl, D. D., Lorie, R. A., & Price, T. G. (1979). Access path selection in a relational database management system. *In ACM SIGMOD Intl. Conf. on Management of Data* (p. 23–34). Association for Computing Machinery.
- Sellis, T. (1988). Multiple query optimization, *ACM Transactions on Database Systems*, 13 (1), 23–52.
- Shim, K., Sellis, T., & Nau, D. (1994). Improvements on a heuristic algorithm for multiple-query optimization. *Data Knowl. Eng.*, 12 (2), 197–222.
- Tantsiura, A., Bondarchuk, A., Ilin, O., Melnyk, Yu., Tkachenko, O., & Storchak, K. (2019). The Image Models of Combined Correlation-Extreme Navigation System of Flying Robots. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8(4), 1012–1019.

Отримано редакцією журналу / Received: 26.01.23

Прорецензовано / Revised: 01.03.23

Схвалено до друку / Accepted: 09.03.23

Olga TKACHENKO, DSc (Engin.), Prof.

ORCID ID: 0000-0001-7983-9033

e-mail: olga.tkachenko@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Oleksandr GOLUBENKO, PhD (Engin.), Assoc. Prof.

ORCID ID: 0000-0002-1776-5160

e-mail: oleksandr.golubenko@istu.edu.ua

Academician Yuriy Bugai International Scientific and Technical University

OPTIMIZATION OF MULTI-REQUEST SINGLE-PROCESSOR COMPUTING

Background. The effectiveness of multi-query execution in single-processor computer system databases is considered. One of the methods of increasing the performance of databases of computer systems is the simultaneous execution of several queries that form a multi-query.

Methods. Methods of analysis and criterial optimization are used in the paper.

Results. The paper analyzes the processing of a conjunctive multi-query (queries are formed by the conjunction of elementary queries, from which a number of elementary queries are repeatedly included in the queries). With the growing importance of operational analytical data processing, the technique of more complex query optimizations has become crucial. In order to be effective, optimizers must adapt to new operators, changes in cost estimation methods, etc. The query execution time is usually used as a criterion for multi-query optimization, while subdividing the time spent working with data in RAM, buffer, and external memory. An optimization plan for conjunctive multi-query execution time when accessing the database based on the ordering of elementary queries is proposed. Two methods of performing a conjunctive multiquery are considered: independently of each other and jointly for unordered and ordered data. It is shown that the execution time of a conjunctive multi-query with joint processing is not always less than with independent processing. The conditions under which the joint processing of a conjunctive multi-query ensures no longer execution time in relation to independent processing are proved.

Conclusions. Implementation of the proposed optimization procedure allows one to increase efficiency of single-processor computer systems that support data bases.

Keywords: optimization, query, multi-query, independent, concurrent processing, criterion, time, unordered, ordered data, database, performance.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



Tania STAROVOYT, Student
ORCID ID: 0009-0008-6335-7679
e-mail: starovoyt.tania@iie.kpi.ua
The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Yuriy ZAYCHENKO, DSc (Engin.), Prof.
ORCID ID: 0000-0001-9662-3269
e-mail: zaych@i.com.ua
National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

A HYBRID QUANTUM-PERFECTED MODEL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE PROBLEM OF AUTOMATIC RECOGNITION AND FAST CONVERSION OF UNSTRUCTURED TEXT INFORMATION INTO SPATIAL

Background. Efficiently converting large amounts of unstructured text data into spatial information is crucial for managing water distribution systems. This allows for the conversion of extensive sets of text information, such as reports, orders, letters, and other documents, into point classes of spatial objects in geographic information systems. To tackle this challenge, a promising new approach involves combining hybrid quantum-classical neural networks with geo-information technologies.

Methods. The study utilized quantum-enhanced hybrid neural networks in combination with GIS methods to identify named entities such as personal accounts and balance sheet objects of Kyivvodokanal by their addresses and geocoding. This information was then published on a geoportal using the ArcGIS Enterprise platform in real-time, which holds great promise for effective water management. The performance of the developed model was evaluated by accuracy indicators, recall parameters, and weighted harmonic average of accuracy and recall.

Results. The obtained results indicate that the developed hybrid quantum-classical model of artificial intelligence can be successfully applied to transform large volumes of unstructured textual information into spatial information. The model was integrated into GIS using ArcGIS Enterprise. By combining the obtained point classes of spatial objects with already existing data, methods of spatial connections, an interactive map with an update interval of every five minutes was developed.

Conclusions. Taking advantage of quantum computing and combining it with classical hardware and classical AI models, it became possible to achieve similar and even better performance in various tasks compared to state-of-the-art methods. Quantum natural language processing is a promising new field that has the potential to revolutionize the way one analyzes and understands human language.

Keywords: QNLP, hybrid quantum-classical neural networks, geocoding, geoparsing, geographic information systems, ArcGIS, entity recognition, unstructured textual information, variational quantum igniter, QLSTM, spatial objects.

Background

Efficiently converting large amounts of unstructured text data into spatial information is crucial for managing water distribution systems. This allows for the conversion of extensive sets of text information, such as reports, orders, letters, and other documents, into point classes of spatial objects in geographic information systems. To tackle this challenge, a promising new approach involves combining hybrid quantum-classical neural networks with geo-information technologies. Quantum-classical artificial neural networks offer several advantages over classical computing (Rieffel, & Polak, 2011), including computing based on the superposition of quantum states and entanglement for the correlation of quantum states. Most of the unstructured data contains location-based entities, making it spatial. Additionally, text information related to water supply companies, such as reports, orders, personal accounts data, and balance sheet reports, is also spatial. This is because it refers to objects situated underground or on the surface of a particular territory, such as pipelines, pumping stations, shut-off valves, etc. These objects have a coordinate reference, and the data may contain a specific address or object name, such as a shopping center or museum. Geoparsing methods can be used to extract the coordinates of an address, which may include famous objects at the end of a street.

Natural language processing (NLP) is a subfield of artificial intelligence that focuses on the study of human language by studying the meanings of words and sentences (DisCoCat lambeq). Methods of combining GIS and NLP were studied in works (Lawley et al., 2023; Ma et al., 2021; Enkhsaikhan et al., 2021a; Enkhsaikhan et al., 2021b). Language models contain mathematical rules for representing words, parts of words, or sentences as numerical vectors that are used to solve machine learning problems (Enkhsaikhan et al., 2021b).

The most effective NLP models are based on transformers, and deep learning models that can interpret the meaning of words based on context (Floridi, & Chiriatti, 2020). Transformers and self-attention are used to capture long-term and bidirectional dependencies, which are important for representations of words that have multiple meanings.

There are two main categories of research methods for recognizing named entities: those based on spatial statistics and machine learning, and those that use deep learning techniques. The former involves analyzing patterns of spatial distribution of toponyms in the text. De Bruijn et al. have suggested a method for extracting toponyms by comparing databases of toponyms and OpenStreetMap (Airola et al., 2019). Current methods that rely on specific geographic directories are unable to identify unofficial place names mentioned in unstructured text. In an effort to address this issue, McKenzie et al utilized numerical spatial statistical metrics and random forest learning techniques to extract neighborhood names from rental property listing data (De Bruijn et al., 2019). Another study conducted by Lai et al utilized a method based on spatial point pattern analysis to extract toponyms from geotagged Twitter texts (McKenzie et al., 2018). However, these methods are limited to specific research regions and may encounter issues such as high dimensionality, computational complexity, and the need for frequent retraining.

To reduce computational complexity, one way of extracting toponyms is by using named entity recognition (NER) tools that already exist. Hu et al. utilized NER tools like spaCy NER and Stanford NER to extract toponyms from real estate ads,

© Starovoyt Tania, Zaychenko Yuriy, 2023



which were then filtered using spatial clustering (Lai et al., 2020). However, this method has limited generalizability. Alternatively, artificial neural networks are great for addressing issues of generality and scalability. However, basic neural network structures may struggle with adapting to large-scale corpora.

Quantum Natural Language Processing (QNLP) is a recently developed area that combines the principles of quantum mechanics with natural language processing techniques. This combination allows for more efficient and accurate analysis of human speech compared to traditional NLP methods by utilizing unique quantum mechanics capabilities such as superposition and entanglement (Bhagvan, 2020; Guarasci, De Pietro, & Esposito, 2022; Hoffmann, 2021). Quantum algorithms further enhance the process by performing multiple calculations simultaneously. Overall, Quantum Natural Language Processing shows great potential in revolutionizing the way we analyze and comprehend human language.

The current solutions for named entity recognition and GIS integration have some shortcomings, such as being slow and not always accurate. As a result, a new hybrid model of artificial intelligence was developed to improve the process and results. Our study proposes a to recognize named entities and convert the information into spatial data. The method of integrating quantum processing of natural language to geo-information systems is carried out for the first time with sets of text information of Kyivvodokanal and for the first time uses quantum computing to improve the classical long-short-term memory (LSTM) artificial neural network model.

Methods

This paper uses a combination of a number of methods. These methods include method of integrating quantum processing of natural language to geo-information systems, method of geoparsing and geocoding and method of quantum state coding. Let us consider them in their turn.

Development methodology and model training workflows. In this study, we utilized text file sets containing personal accounts from Kyivvodokanal subscribers, as well as unstructured text files containing information on the ownership of objects in the balance sheet. Orders for water supply networks and structures transfer to the possession and use of PJSC "Kyivvodokanal" provided crucial information for the GIS water supply system, including the date, transfer type, number, name of structural unit, network type, network length, pipe material, year of commissioning, and diameter. Personal accounts contain information: account number, type of input, address, place of installation of input, source of water use, volume of consumption, etc. The data were received in text formats txt, CSV.

To identify addresses and other objects in text files, we used an open-source tool called Doccano (Qiskit, 2023) for text labeling in natural language processing (NLP) tasks. We categorized all relevant information into pre-defined categories, such as names of people, organizations, and locations. Each entity tag was encoded using the VIO annotation scheme, where the letter "B" represented the beginning of the entity tag, and "I" represented the end. Any words that didn't refer to the desired objects were marked with the "O" tag.

Named Entity Recognition (NER). Named Entity Recognition (NER) is the process of extracting or identifying key information (entities) in text. An entity can be a keyword or a series of keywords. NER is a form of natural language processing (NLP), a subfield of artificial intelligence. Entities in NER are divided into the following categories: person, organization, time, location, and others. This model is used when there is a need to group texts based on their correspondence or similarity (Peixeiro, 2022). The entity recognition process is divided into entity recognition model training and object recognition using deep learning.

1. The process of training an entity recognition model involves using a machine learning approach to provide the model with training samples. These samples consist of pairs of input text and labeled entities in the text. The training process is iterative, with the training data passing through the neural network multiple times. Each pass is called an epoch (Peixeiro, 2022).

2. Object recognition using deep learning. The trained model recognizes named entities and locations in text files and records them in a table by them with the specified locator. As a result, we get a point class of spatial objects.

To run a deep learning model, it's important to indicate whether the base layers in the pre-trained model will be fixed to keep their original weights and biases. By default, the base model layers are not frozen, allowing the weights and offsets of the reference model to adjust to the training samples. This may take longer, but usually yields better results.

Geoparsing and geocoding. Geoparsing is a process of toponym recognition and geolocation that converts arbitrary text descriptions of places into spatial identifiers (coordinates) from structured or unstructured text, such as social media posts, news, scientific articles, web pages, and historical archives. Geoparsing is used for the following typical areas: searching for geographic information, combating natural disasters, traffic management, fighting crime, and monitoring diseases.

The process of geoparsing involves several main procedures (Wang et al., 2022).

1) General procedure, which includes recognizing place names and determining their locations. Various tools like StanfordNER (Doccano), SpaCyNER (The Stanford Natural Language Processing Group), and Baidu geocoding tool (spaCy) are often used in this stage. The goal is to use modern text-based geanalysis methods to obtain the most accurate geographic analysis locations.

2) The procedure for associating attributes. To associate attributes with toponyms, the procedure involves extracting attributes from the sentence and pairing them with the corresponding toponyms. The aim of this process is to determine the primary connections between the toponyms and their attributes.

3) RS function association procedure. The RS function association procedure involves linking attributes with RS functions. These functions can offer extra spatial information to accurately analyze geographical locations.

4) Binding procedure of the RS region. Acquisition of target spatial information based on RS characteristics is performed.

5) Location correction procedure. The resulting locations and references are synthesized, including "places" from the general geanalysis procedure, "attribute toponym" from the attribute association procedure, "attribute-RS function" from the feature association procedure RS, and "target-area function-RS". On the example of the study of the ecological model of the forest (Wang et al., 2022), a set of toponyms with geoparsing $t_i \in T$ indicates a toponym-attribute correspondence list. $List_{t-p}$ indicates the matching list of the RS attribute function. $List_{p-ft}$ set of zone RS means $f_{a_j} \in A$. Additional parameters are also needed to improve correction accuracy, including a list of the city center $List_{cc}$. The cluster threshold divides the target areas into clusters. To determine the correction of toponyms, it is necessary to calculate the value of AI, which indicates the ability to attract the surrounding territories. The value of AI is calculated according to formula (1) (Wang et al., 2022).



$$Aik = AREAck / DISTANCEck. \quad (1)$$

Geocoding is the process of converting addresses into geographic point objects with coordinates. Reverse geocoding converts coordinates to addresses. Unlike geoparsing, geocoding parses unambiguous structured references to locations, such as postal addresses and well-formatted numeric coordinates. For our research, we used the Google Geocoding API, as it is free for processing a large number of objects and works well for non-English addresses.

Quantum state coding method. To encode data in a quantum state, a basic language set of tokens is defined for each representative space of token values (a noun is a subject, verbs and nouns are objects). The generalized representation of each lexeme t_i in the corresponding value space will be defined as m (O’Riordan et al., 2020).

$$t_i = \sum_j^n d_{i,j} m_j, \quad (2)$$

where $d_{i,j}$ means the distance between the base marker m_j and the non-base marker t_i . As a result, we get a linear combination of base tokens with representative weights to describe the matched tokens. For effective data preprocessing, the following steps must be performed (O’Riordan et al., 2020):

- 1) Tokenize the corpus and record the places of occurrence in the text.
- 2) Mark lexemes with the appropriate type of value space.
- 3) Divide lexemes into sets of nouns and verbs.
- 4) Identify the main markers in each set as the most frequently occurring lexemes.
- 5) Map base markers in each corresponding space on a fully connected graph with edge weights determined by the minimum distance between base markers.
- 6) Calculate the shortest Hamilton cycle. The order of tokens in a cycle reflects the division of tokens in the text and the degree of their similarity.
- 7) Map main markers to binary strings.
- 8) Project the composite tokens onto the base set of tokens using the limit distances of the similarity representation.
- 9) Create a sentence by matching compound lexemes noun-verb-noun. Once the pre-processing stages are complete, the corpus is converted into binary strings and then encoded into the quantum register (O’Riordan et al., 2020). To make the coding process more straightforward, we use a binary representation of the distance for formula (3), where markers within the same cutoff have identical weight. This enables states to be encoded as an evenly weighted superposition, which can be easily implemented as a quantum circuit (O’Riordan et al., 2020).

For the coding algorithm of a set of bit strings, we define: basic states of calculations and, Pauli-X gate (σ_x), controlled X and n -controlled NOT operations (nCX), respectively (O’Riordan et al., 2020):

$$Xa : |a\rangle \rightarrow |¬a\rangle, \quad (3)$$

$$CX_{a,b} : |a\rangle|b\rangle \rightarrow |a\rangle|a \oplus b\rangle, \quad (4)$$

$$nCX_{a_1, b \dots a_n, b} : |a_1\rangle \dots |a_n\rangle |b\rangle \rightarrow |a_1\rangle \dots |a_n\rangle |b \oplus (a_1 \wedge \dots \wedge a_n)\rangle. \quad (5)$$

For a set of N unique binary patterns, each of length n , three qubit registers are required, a memory register of length n , an auxiliary register of length n , and a control register of length 2, the complete quantum register is determined by the formula (O’Riordan et al., 2020):

$$p^{(i)} = \{p_1^{(i)}, \dots, p_n^{(i)}\} \quad i = 1, \dots, N |m|a\rangle|u\rangle|01\rangle|m\rangle|a\rangle, \quad (6)$$

$$|m\rangle = |a\rangle = |0\rangle^{\oplus n}, \quad (7)$$

$$|\psi_0\rangle = |a\rangle|u\rangle|m\rangle = |0_1 \dots 0_n\rangle|01\rangle|0_1 \dots 0_n\rangle. \quad (8)$$

Each of the binary vectors is encoded sequentially. In each iteration of the coding algorithm, a new state is generated in the superposition. The new state is called the active state of the next iteration. The remaining states are inactive. In each iteration of the algorithm, the active state is selected using $|u\rangle = |01\rangle$ (O’Riordan et al., 2020).

During the execution of one iteration, the binary vector is stored in an integer format, which is sequentially encoded bit by bit using Pauli-X elements into an auxiliary register that causes the state: $|a\rangle|\psi_1\rangle$ (Andrade et al., 2020).

$$|\psi_1\rangle = |a_1^{(1)} \dots a_n^{(1)}\rangle|01\rangle|0_1 \dots 0_n\rangle. \quad (9)$$

In the next step, this binary representation is copied into the active state memory register by using the $2CX : |m\rangle|1\rangle$ gate (O’Riordan et al., 2020).

$$|\psi_2\rangle = \prod_{j=1}^n 2CX_{aju_2m_j} |\psi_1\rangle. \quad (10)$$

The next step is to apply CX and then X -gate to all qubits, using qubits as control elements

$$|\psi_3\rangle = \prod_{j=1}^n X_{m_j} CX_{a_jm_j} |\psi_2\rangle. \quad (11)$$

This step sets the qubits to 1, provided that the corresponding qubit index in both matches, otherwise 0. Therefore, the state in which the register matches the stored pattern will be set to 1, while the other states will have at least one 0. After the state is selected, the nCX operation is applied to the first qubit in the auxiliary register, using the qubits as control: $|m\rangle$ (O’Riordan et al., 2020).

$$|\psi_4\rangle = nCX_{m_1 \dots m_n u_1} |\psi_3\rangle. \quad (12)$$

To fill a new state in the superposition, it is necessary to remove the amplitude from the existing states so that the new state has a non-zero coefficient. For this, it is necessary to use the controlled unitary matrix $CS^{(N+1-i)}$ to the second auxiliary qubit u_2 , where the first auxiliary qubit u_1 is the control (O’Riordan et al., 2020):

$$|\psi_5\rangle = CS_{u_1 u_2}^{(N+1-i)} |\psi_4\rangle. \quad (12)$$



All other states are selected by the formula:

$$k \in \{1, \dots, N\} \subset Z^+ R_y(\theta) = \exp(-i\theta\sigma_y/2),$$

$$\gamma(k) = -\arccos \arccos((k-2)/k |u\rangle = |11\rangle|u\rangle = |10\rangle|u\rangle = |00\rangle. \tag{13}$$

For the next iteration of the algorithm, we calculate the steps from formulas (10) (11) (12) as (O’Riordan et al., 2020):

$$|\Psi_6\rangle = nCX_{m_1\dots m_n}u_1|\Psi_5\rangle, \tag{14}$$

$$|\Psi_7\rangle = \prod_{j=n}^1 CX_{ajm_j}X_{m_j}|\Psi_6\rangle, \tag{15}$$

$$|\Psi_8\rangle = \prod_{j=n}^1 2CX_{aju2m_j}|\Psi_7\rangle. \tag{16}$$

This result leads to the selection of the previous active state $|u\rangle = |00\rangle$, while the new state will be $|u\rangle = |01\rangle$. The memory register of the previous active state will contain the pattern $\{a^{(i)}, \dots, an^{(i)}\}$, while the memory register of the new active state is set to all zeros (O’Riordan et al., 2020).

The next step is to code the quantum register for another pattern, according to formula (17) (O’Riordan et al., 2020):

$$|\psi\rangle = |a\rangle|u\rangle|m\rangle = |0_1 \dots 0_n\rangle|00\rangle \left(\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N |p_1^{(i)}, \dots, p_n^{(i)}\rangle\right). \tag{17}$$

This algorithm assumes that the number of patterns to be encoded is known in advance. These templates are necessary for generating $S^{(k)}$ matrices and applying them in the correct order. The total number of qubits for this algorithm is $2n + 2$, of which $n + 2$ can be reused (O’Riordan et al., 2020).

To illustrate how one can apply above methods, let us apply them to a number of neural networks.

First, we will consider hybrid quantum-enhanced neural network (QNN). A quantum neural network takes classical input data and maps it into a quantum state using a feature map. The resulting state passes through the variational form. The output data of a quantum neural network is the result of the final state measurement operation (Gonzlez-Castillo, & Combarro, 2023). Fig. 1 schematically shows how a quantum neural network works.

QNNs, like classical artificial neural networks, can be trained using backpropagation of error with gradient descent (differentiated learning) or evolutionary search heuristics (undifferentiated) (Jacquier et al., 2022). Quantum neural networks have an edge over classical ones when it comes to quantum data. However, classical data can also be encoded as quantum states and processed by QNNs with more efficiency and better ability to handle overtraining due to their speedup (Jacquier et al., 2022).

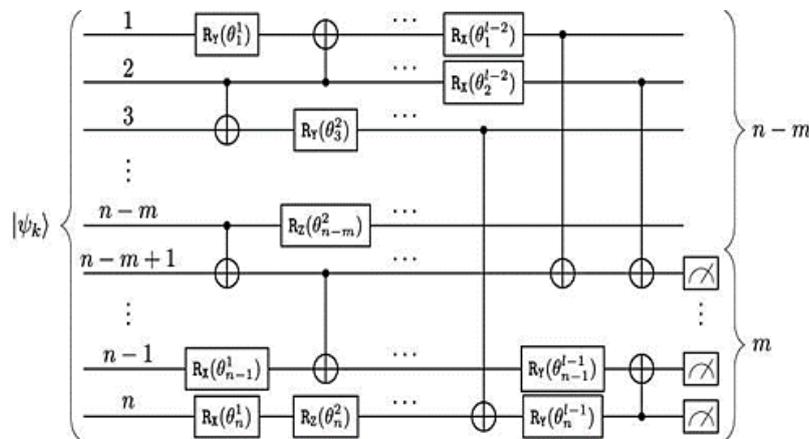


Fig. 1. Schematic representation of a quantum neural network (Jacquier et al., 2022)

When quantum neural networks work on simulators, the gradients can be calculated using automatic differentiation methods. When running either on real quantum equipment or on simulators, the gradients can also be calculated using the parameter shift rule (Gonzlez-Castillo, & Combarro, 2023). These methods are fully implemented in the PennyLane quantum programming environment (Baidu).

There are optimization methods called "optimizers without gradients" that eliminate the need for calculating gradients during the backpropagation step (Zhu et al., 2019). This approach reduces the complexity of differentiating quantum circuits. It was frequently used in the creation of the initial QNNs.

Quantum Natural Language Processing (QNLP). Quantum Natural Language Processing (QNLP) is a new field of quantum artificial intelligence where natural language is combined with the capabilities of quantum computing. QNLP is a new line of research aimed at developing and improving NLP models using quantum phenomena: superposition, quantum entanglement, and interference in tasks related to natural language processing, encoding information into a quantum state, or using quantum equipment (Guarasci, De Pietro, & Esposito, 2022).

Quantum gates are used to manipulate quantum states, which are similar to logic gates in classical computing. QNLP algorithms utilize these gates to perform NLP tasks like classification, clustering, and generation by applying them to the quantum states that represent words and sentences (Guarasci, De Pietro, & Esposito, 2022).

Long short-term memory (LSTM) networks. Long Short-Term Memory (LSTM) is a deep learning architecture that is a subtype of RNN. LSTM solves the short-term memory problem by adding cell state. This allows past information to pass



through the network over a longer period, meaning the network is still carrying information from early values in the sequence. Long-short-term memory (LSTM) networks have been a breakthrough in natural language processing when learning sequential data and dependencies, such as textual data. Transformer architectures have outperformed LSTMs, but long-short-term memory networks can be greatly improved by applying quantum computing, which in turn outperforms Transformer models. Fig. 2 shows the LSTM architecture.

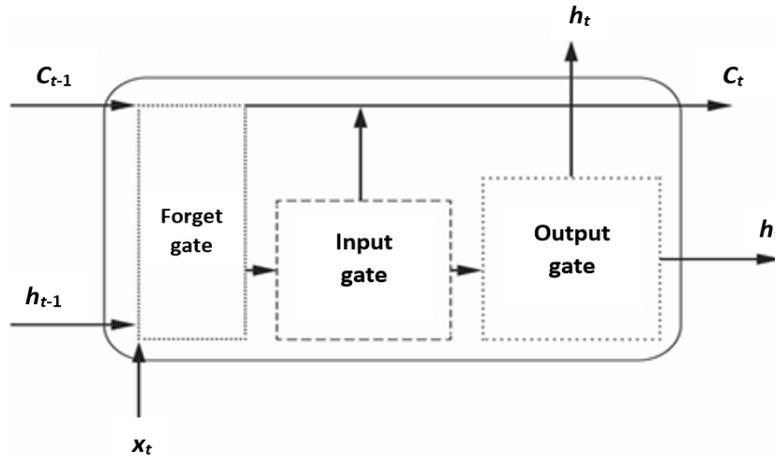


Fig. 2. LSTM Architecture

Adding a cell state labeled C. This cell state allows the network to store past information in the network for a longer time, solving the problem of gradient fading. The element of the sequence is indicated by x_t , the hidden state is h_t . The state of the cell and the hidden state are passed to the next element of the sequence, using the previous information as input for the next element (Chen, 2022).

Quantum-Enhanced Network of Long Short-Term Memory (QLSTM). The QLSTM quantum long-term memory network is an advanced version of the classical LSTM that operates in the quantum realm. It replaces LSTM cells with variational quantum circuits (VQC), which have three components: data encoding, variational layer, and quantum measurements (Wu, & Wang, 2019). This circuit converts a classical input vector into a quantum state, and the process is outlined in section “Quantum state coding method”. The mathematical model for QLSTM is presented in formulas (18–24) and Fig. 3.

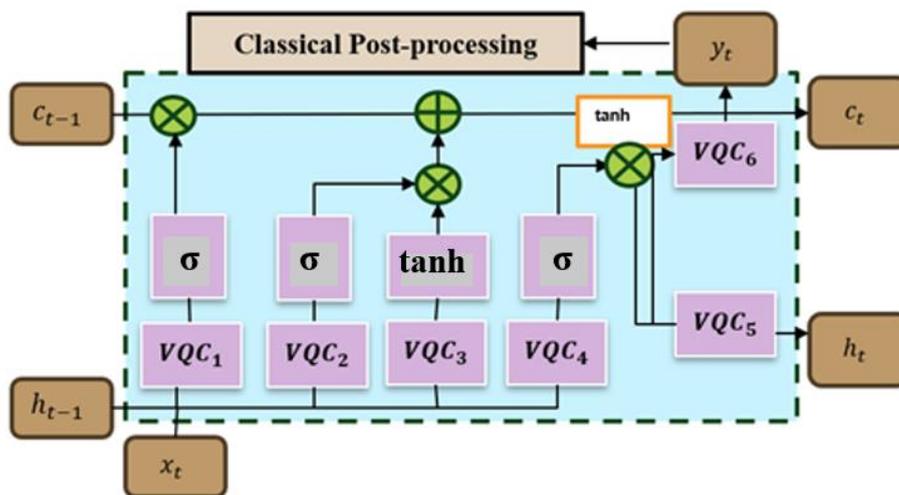


Fig. 3. QLSTM Architecture scheme (Wu, & Wang, 2019)

$$f_t = \sigma(VQC_1(v_t)), \tag{18}$$

$$i_t = \sigma(VQC_2(v_t)), \tag{19}$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(VQC_3(v_t)), \tag{20}$$

$$c_t = f_t * c_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t, \tag{21}$$

$$o_t = \sigma(VQC_4(v_t)), \tag{22}$$

$$h_t = VQC_5(o_t * \tanh(c_t)), \tag{23}$$

$$y_t = VQC_6(o_t * \tanh(c_t)). \tag{24}$$



The blocks σ and \tanh are the activation functions of the sigmoid and the hyperbolic tangent. Variable x_t is the input signal at time t , h_t is for the hidden state, c_t is for the cell state, y_t is the output. \otimes and \oplus are element-wise multiplication and addition, respectively (Wu, & Wang, 2019).

Metrics for evaluating the accuracy of models. To evaluate the accuracy of the models, the accuracy_score formula (25) was used. If all the predicted labels for a sample match the true set of labels, the subset accuracy is 1.0. Otherwise, it is 0.0. The proportion of correct predictions over the n_{samples} is defined as (PennyLane, 2023), where y_i is the predicted value and the corresponding true value is y_i .

$$\text{Accuracy}(y, \hat{y}) = \frac{1}{n_{\text{samples}}} \sum_{i=0}^{n_{\text{samples}}-1} 1(\hat{y}_i = y_i), \tag{25}$$

where $1(x)$ is the identity function.

The F-measure is a weighted harmonic mean of precision and recall scores. It is defined as (PennyLane, 2023):

$$\text{AP} = \sum_n (R_n - R_{n-1}) P_n, \tag{26}$$

where P_n and R_n are precision and recall at the n th threshold. With random predictions, AP is the proportion of positive samples (PennyLane, 2023).

The Matthews correlation coefficient takes into account false positives and negatives, and is considered a balanced measure that can be used even if the classes are of different sizes (PennyLane, 2023). For the research task, that is, for multi-class classification, the Matthews coefficient is determined by the formula:

$t_k = \sum_i C_{ik}$ – number of classes, $p_k = \sum_i C_{ki}$ – number of predicted classes, $c = \sum_k C_{kk}$ – total number of correctly predicted samples, $s_k = \sum_i \sum_j C_{ij}$ – total number of samples. Then we define a multi-class MCC as (PennyLane, 2023):

$$\text{MCC} = \frac{c \times s - \sum_k p_k \times t_k}{\sqrt{(s^2 - \sum_k p_k^2) \times (s^2 - \sum_k t_k^2)}}. \tag{27}$$

If there are more than two label values, the MCC value will no longer be in the range of -1 to $+1$. Instead, the minimum value will be somewhere between -1 and 0 , depending on the number and distribution of ground truth labels. The maximum value will always be $+1$ (PennyLane, 2023).

The ROC-AUC or AUROC function, known as roc_auc_score, calculates the area under the ROC curve and reduces all the curve information to a single number. This function is also applicable to multi-class classification. It supports two averaging strategies: the one-versus-one algorithm, which averages pairwise ROC AUCs, and the one-versus-rest algorithm, which averages ROC AUCs for each class against all other classes. In both cases, the predicted labels are provided in an array with values ranging from 0 to n_{classes} , while the scores reflect the estimated probability that the sample belongs to a particular class (PennyLane, 2023).

The one-versus-one algorithm calculates the average AUC of all possible pairwise combinations of classes. The evenly weighted multi-class AUC metric is determined by the formula (PennyLane, 2023):

$$\frac{1}{c(c-1)} \sum_{j=1}^c \sum_{k>j}^c (AUC(k) + AUC(k|j)), \tag{28}$$

where c is the number of classes and $AUC(k)$ is positive class j and k is negative. In the general multiclass case $AUC(k) \neq AUC(j)$ (PennyLane, 2023).

Results

LSTM model implementation. To implement the classic LSTM, we used the Google Colab and PyTorch development environment. The first step was to configure the appropriate packages and load a set of labeled data, with sentences padded with zeros to the same length. Next, we defined two functions: train_model – a function for training the model; val_model - to check the model. The classic LSTM model consists of four layers: Forget layer, Input layer, Update layer, Output layer. A learning rate of 0,05 was determined after several experiments with different amounts of data. The results of model training are shown in Fig.4 and Tab.1.

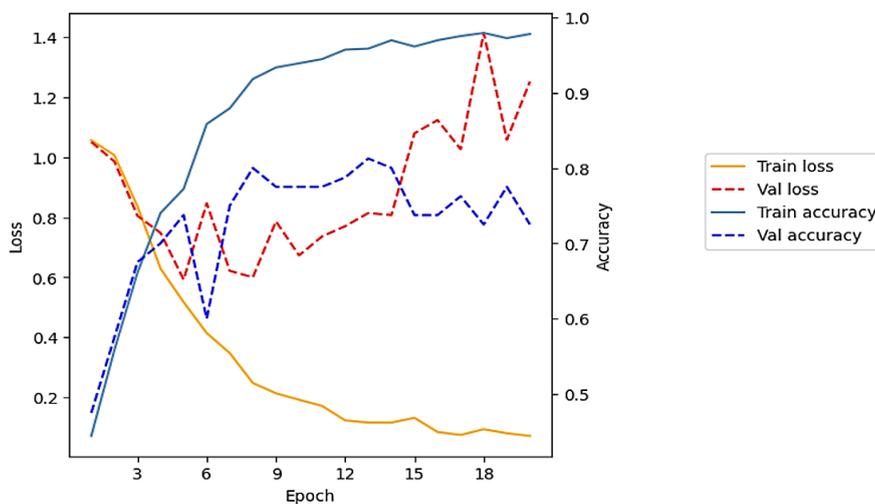


Fig. 4. The result of learning the classic LSTM model



Table 1

Results of classical LSTM network training

Epoch	LSTM			
	Train data		Valid data	
	loss	acc	loss	acc
1	1,056	0,44	1,051	0,47
2	1,006	0,56	0,986	0,57
3	0,836	0,66	0,805	0,68
4	0,629	0,74	0,748	0,70
5	0,517	0,77	0,592	0,74
6	0,414	0,86	0,846	0,60
7	0,348	0,88	0,621	0,75
8	0,248	0,92	0,600	0,80
9	0,214	0,93	0,786	0,77
10	0,192	0,94	0,673	0,77
11	0,172	0,94	0,736	0,77
12	0,124	0,96	0,770	0,79
13	0,117	0,96	0,814	0,81
14	0,116	0,97	0,807	0,80
15	0,132	0,96	1,079	0,74
16	0,085	0,97	1,123	0,74
17	0,075	0,98	1,026	0,76
18	0,094	0,98	1,413	0,73
19	0,081	0,97	1,058	0,77
20	0,072	0,98	1,251	0,73

LSTM compilation was performed using sparse categorical cross-entropy loss and accuracy metrics. From the obtained results, it can be seen that the train loss is constantly decreasing, which indicates that the network is learning well. Accuracy of the model: 0.76, average harmonic means of accuracy and recall – 0.771, AUC – 0.823, MCC – 0.616.

Implementation of the QLSTM model. To implement QLSTM, we replaced the key levels of the LSTM neural network with variational quantum layers based on variational quantum schemes (Fig. 5). Thus, the parameters to be learned became the rotation parameters in the chains, forming a hybrid quantum-classical level of the neural network (as a classical optimizer).

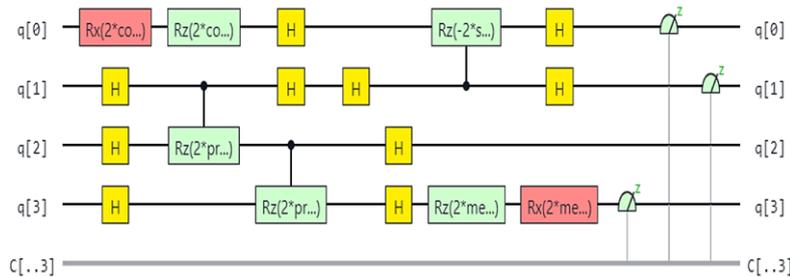


Fig. 5. Variational quantum scheme

The built-in PennyLane quantum simulator [Baidu] was used to run variational quantum circuits. The number of qubits we used is 4, the number of variational layers is 1, and the learning rate is 0.05. These parameters were determined by experimenting on a small number of epochs to determine the optimal number that would give the best results. The results of model training are shown in Fig. 6 and Tab. 2.

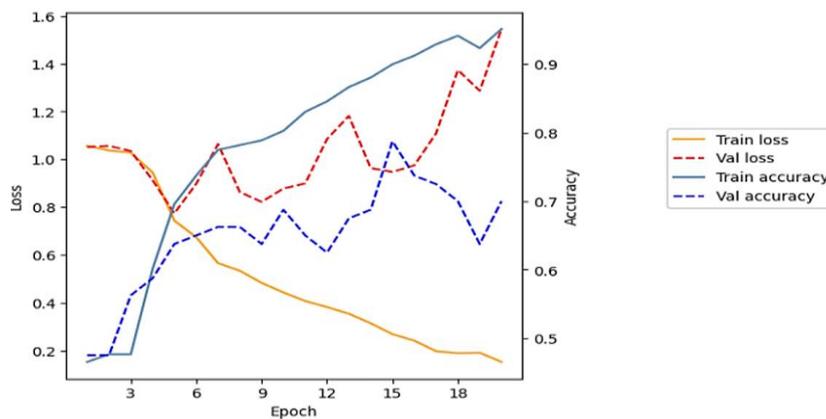


Fig. 6. Results of QLSTM network training



Table 2

Epoch	Results of QLSTM model training			
	QLSTM			
	Train data		Valid data	
	loss	acc	loss	acc
1	1,056	0,47	1,051	0,47
2	1,037	0,48	1,056	0,47
3	1,028	0,48	1,035	0,56
4	0,945	0,60	0,912	0,59
5	0,743	0,70	0,774	0,64
6	0,674	0,74	0,898	0,65
7	0,565	0,77	1,063	0,66
8	0,534	0,78	0,863	0,66
9	0,483	0,79	0,822	0,64
10	0,443	0,80	0,878	0,69
11	0,407	0,83	0,899	0,65
12	0,382	0,85	1,085	0,62
13	0,354	0,87	1,182	0,68
14	0,314	0,88	0,963	0,69
15	0,268	0,90	0,947	0,79
16	0,241	0,91	0,975	0,74
17	0,197	0,93	1,108	0,73
18	0,189	0,94	1,374	0,70
19	0,190	0,92	1,287	0,64
20	0,152	0,95	1,545	0,70

The obtained results showed that hybridization of classical LSTM did not bring significant results, so we additionally performed hybridization of LSTM using categorical compositional distribution model (DisCoCat) (Hu, Mao, & McKenzie, 2019; Scikit-learn), which combines vector space models and categorical compositional models (grammars). DisCoCat is a distributed correspondence of categorical quantum mechanics that provides a way to represent linguistic meanings as quantum processes. In this framework, words and sentences are represented as quantum states, and connections between words are modeled as quantum processes.

The above approach is suitable for small amounts of data because it lacks memory and other advanced features. Therefore, we used DisCoCat charts for LSTM hybridization. This method is well suited for scaling and processing large sequences, as it can transfer previous memory to subsequent processing steps.

The learning results of the hybrid quantum- enhanced neural network are shown in Fig. 7 and Tab.3.

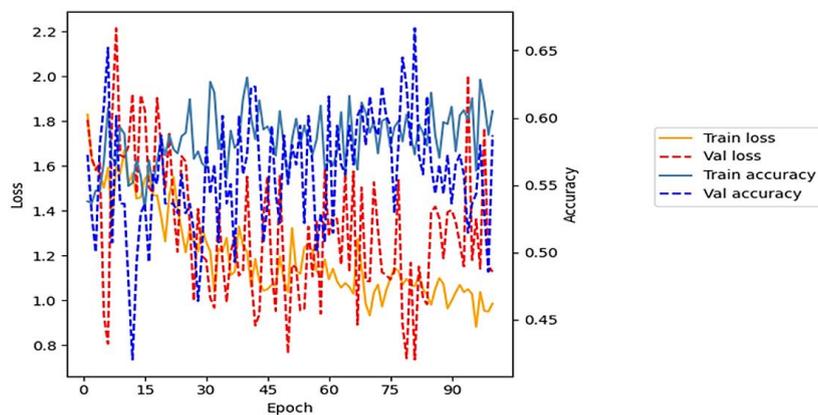


Fig. 7. Results of QLSTM model training

Table 3

Epoch	DisCoCat model training speed and accuracy results			
	DisCoCat			
	Train data		Valid data	
	loss	acc	loss	acc
1	0,7780	0,5429	1,8223	0,3000
2	0,4895	0,5000	0,6300	0,6667
3	1,0138	0,7143	0,7838	0,6667
4	0,4800	0,7143	0,8864	0,5667
5	0,5569	0,6857	0,8657	0,4667
6	0,9278	0,6429	1,0460	0,5667
7	0,8512	0,5286	0,8624	0,5333
8	0,8151	0,5429	0,8426	0,5000



Epoch	DisCoCat			
	Train data		Valid data	
	loss	acc	loss	acc
9	0,8157	0,4857	1,0738	0,6333
10	1,1278	0,4714	0,8331	0,6000
11	0,8942	0,5000	0,6632	0,6333
12	0,4706	0,5571	1,0278	0,4333
13	0,8645	0,5286	0,8895	0,6333
14	0,9549	0,5286	1,1223	0,5333

As can be seen from the obtained results, the hybridization of the LSTM network with DisCoCat diagrams did not outperform the classical model either.

Accuracy assessment and comparison of LSTM and QLSTM-DisCoCat models. The accuracy of the model was evaluated by the accuracy score (accuracy_score) and the loss function on the training and test data.

From the obtained results, we can see that the results of the QLSTM and DisCoCat models are not superior to the classical model, and the quantum neural network required more training time. With the increase in the number of epochs, the time for training the models increased by a factor of three. The result of changing the number of training epochs is the conclusion that this parameter is variable and depends on the data set used.

It should be noted that when the number of quantum qubits increases, the time for training models increases depending on the size of the data set. The number of qubits in a neural network is a parameter that determines the number of connections when connecting classical layers, a pre-trained model and a quantum layer. The result of changing the number of quantum qubits is the conclusion that this parameter is important for improving the results of the neural network and does not depend on the data set used.

As a next step, we significantly increased the amount of input data and verified the obtained results. The results of model training are shown in Tab. 4.

From the obtained model training results (Tab. 4.), we can see that the hybrid quantum-classical neural network learns much more information in the first few epochs compared to LSTM, but both models eventually degrade to a low value.

Table 4

Epoch	Results of model training			
	LSTM		QLSTM	
	Train loss	Valid acc	Train loss	Valid acc
1	0,265	2,634	0,007	1,317
2	0,034	2,006	0,006	1,251
3	0,018	1,789	0,005	1,194
4	0,012	1,614	0,004	1,141
5	0,009	1,514	0,004	1,078
6	0,008	1,481	0,004	1,042
7	0,008	1,418	0,004	1,022
8	0,007	1,410	0,004	0,995
9	0,006	1,378	0,003	0,987
10	0,006	1,322	0,003	0,968
11	0,006	1,304	0,003	0,951
12	0,005	1,284	0,003	0,928
13	0,005	1,315	0,003	0,939
14	0,005	1,334	0,003	0,929
15	0,005	1,264	0,003	0,937
16	0,005	1,287	0,003	0,928
17	0,004	1,289	0,003	0,910
18	0,004	1,224	0,003	0,905
19	0,004	1,293	0,003	0,910
20	0,004	1,269	-	-

This indicates that QLSTM has better learning ability. It should also be noted that QLSTM uses fewer parameters than classical LSTM, which also indicates an advantage in the learning ability of QLSTM over LSTM.

Integration of a learned quantum natural language processing model into GIS. To implement the trained model of artificial intelligence in practice, we used ArcGIS Pro, ArcGIS API for Python, in which it is possible to extract objects and record them in a spatial Data Frame or a class of spatial objects, with their simultaneous visualization on the map. Spatial Data Frame (SEDF) creates a simple object that can easily manipulate geometric and attribute data (DisCoCat lambeq).

SEDF is based on data structures that are inherently suitable for data analysis with operations to filter and validate subsets of values that are fundamental to statistical and geographic manipulation (DisCoCat lambeq). We integrated the code of the QLSTM model into the ArcGIS Pro environment to use the already trained entity recognizer model.

To transform the received text information into spatial information, a locator was used, which uses information about the location zone found in text documents to identify the research region in which the addresses are located. As a result, we received a point class of spatial objects with recognized information and published them on the geoportal for further geoprocessing (Fig. 8).

Fig. 8 shows the result of converting text into spatial information (point classes of spatial objects) and publishing the resulting data on a corporate geoportal based on ArcGIS Enterprise.

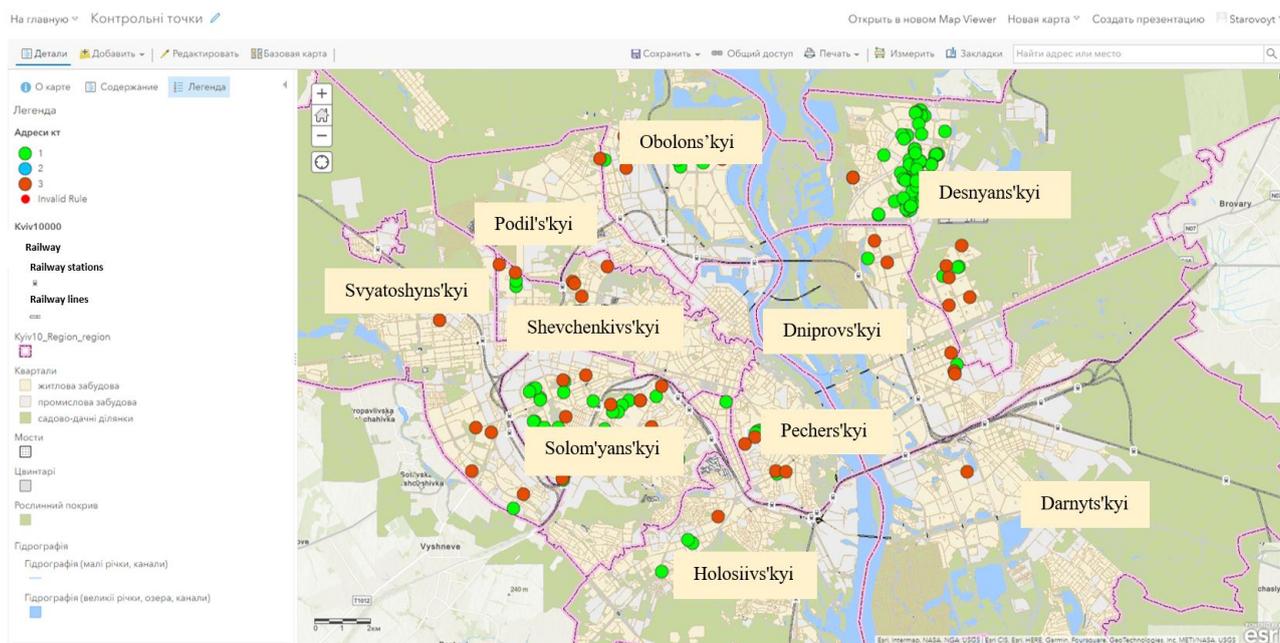


Fig. 8. The result of the transformation of unstructured text information into spatial information

Conclusions

The hybrid quantum-enhanced model of artificial intelligence was developed for the task of fast and automatic transformation of large volumes of unstructured text information of the Kyiv Water Canal into the geodatabase of the GIS water supply system. The model was integrated into GIS using ArcGIS Enterprise. By combining the obtained point classes of spatial objects with already existing data, methods of spatial connections, we developed an interactive map with an update interval of every five minutes. The following conclusions can be drawn from the forecasting model described above:

- Results of performance evaluation and verification of selected indicators: evaluation of accuracy and memorization of models; weighted harmonic mean of precision and recall scores; the Matthews correlation scores showed that the quantum-enhanced QLSTM model and LSTM hybridization with DisCoCat charts did not outperform the classical LSTM model.
- One potential advantage of QNLP is its ability to learn more efficiently and quickly than classical NLP algorithms. Quantum computing is well-suited to processing massive data sets due to its ability to perform many calculations simultaneously.
- The combination of quantum natural language processing and geoinformatics makes it possible to quickly and automatically create geospatial data from unstructured textual information.

Taking advantage of quantum computing and combining it with classical hardware and classical AI models have achieved similar and even better performance in various tasks compared to state-of-the-art methods. Quantum natural language processing is a promising new field that has the potential to revolutionize the way we analyze and understand human language.

Contribution of the authors. Tania Starovoyt – implementation of the methods and empirical data collection and analysis. Yuriy Zaychenko – selection of the methods and methodology of the research, performing literature review, results description and drawing conclusion.

References

- Airola, A., Pohjankukka, J., Torppa, J., Middleton, M., Nykänen, V., Heikkonen, J., & Pahikkala, T. (2019). The spatial leave-pair-out cross-validation method for reliable AUC estimation of spatial classifiers. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 33(3), 730–747.
- Andrade, F. G., Carvalho-Ramalho, R. E., Firmino, A. A., Souza-Baptista, C., Ramos-Falcao, A. G., & Oliveira, M. G. (2020). Using Natural Language Processing for Extracting GeoSpatial Urban Issues Complaints from TV News. *GEOProcessing 2020: The Twelfth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services*. International Academy, Research, and Industry Association.
- ArcGIS 2023. <https://developers.arcgis.com/python/guide/how-named-entity-recognition-works/>
- ArcGIS API for Python. <https://developers.arcgis.com/python/guide/how-named-entity-recognition-works/>
- Baidu. *Geocoding API v2.0*. <https://api.map.baidu.com/lbsapi/cloud/webservice-geocoding.htm>
- Bhagvan, K. (2020). *Quantum Computing Solutions: Solving Real-World Problems Using Quantum Computing and Algorithms*. Apress.
- Chen, S. (2022). Quantum long short-term memory. *arXiv:2009.01783*. doi:10.48550/arXiv.2009.01783
- De Bruijn, J. A., de Moel, H., Jongman, B., de Ruiter, M. C., Wagemaker, J., & Aerts, J.C. (2019). *A global database of historic and real-time flood events based on social media*. Sci. Data.
- DisCoCat lambeq. <https://cqcl.github.io/lambeq/tutorials/discocat.html>
- Doccano. <https://github.com/doccano/doccano>
- Enkhsaikhan, M., Holden, E.-J., Duuring, P., & Liu, W. (2021). *Understanding ore-forming conditions using machine reading of text*. Ore Geology Reviews.
- Enkhsaikhan, M., Liu, W., Holden, E.-J., & Duuring, P. (2021). Auto-labelling entities in low-resource text: A geological case study. *Knowledge and Information Systems*, 63(3), 695–715.
- Floridi, L., & Chiriatti, M. (2020). GPT-3: Its Nature, scope, limits, and consequences. *Minds and Machines*, 30(4), 681–694.
- Gonzalez-Castillo, S., & Combarro, E., F. (2023). *A Practical Guide to Quantum Machine Learning and Quantum Optimization*. Packt Publishing.
- Guarasci, R., De Pietro, G., & Esposito, M. (2022). *Quantum natural language processing: Challenges and opportunities*. Applied Sciences.
- Hoffmann, T. (2021). Quantum Models for WordSense Disambiguation. *Master's thesis in Complex Adaptive Systems*. Chalmers University of Technology.
- Hu, Y., Mao, H., & McKenzie, G. (2019). A natural language processing and geospatial clustering framework for harvesting local place names from geotagged housing advertisements. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, (33), 714–738.
- Huang, Z., Xu, W., & Yu, K. (2015). Bidirectional LSTM-CRF Models for Sequence Tagging. *arXiv:1508.01991v1*. doi:10.48550/arXiv.1508.01991



- Jacquier, A., Kondratyev, O., Lipton, A., & López de Prado, M. (2022). *Quantum Machine Learning and Optimisation in Finance*. Packt Publishing.
- Lai, J., Lansley, G., Haworth, J., & Cheng, T. (2020). A name-led approach to profile urban places based on geotagged Twitter data. *Trans. GIS 2020*, (24), 858–879.
- Lawley, C., Gadd, M. G., Parsa, M., Lederer, G. W., Graham, G. E. & Ford, A. (2023). *Applications of Natural Language Processing to Geoscience Text Data and Prospectivity Modeling*. Natural Resources Research. Springer.
- Ma, K., Tian, M., Tan, Y., Xie, X., & Qiu, Q. (2021). *What is this article about? Generative summarization with the BERT model in the geosciences domain*. Earth Science Informatics.
- McKenzie, G., Liu, Z., Hu, Y., & Lee, M. (2018). Identifying urban neighborhood names through user-contributed online property listings. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, (7), 388.
- O'Riordan, L. J., Doyle, M., Baruffa, F., & Kannan, V. (2020). A hybrid classical-quantum workflow for natural language processing. *arXiv:2004.06800*. doi:10.48550/arXiv.2004.06800.
- Peixeiro, M. (2022). *Time Series Forecasting in Python*. Manning.
- PennyLane (2023). <https://pennylane.ai/qml/>
- Qiskit (2023). https://qiskit.org/ecosystem/machine-learning/tutorials/01_neural_networks.html
- Rieffel, E. G., & Polak, W. H. (2011). *Quantum Computing: A Gentle Introduction*. MIT Press: Cambridge, MA, USA.
- Scikit-learn. <https://scikit-learn.org/stable/index.html>
- spaCy. *Industrial-Strength Natural Language Processing in Python*. <https://spacy.io/>
- The Stanford Natural Language Processing Group. Stanford Named Entity Recognizer (NER). <https://nlp.stanford.edu/software/CRF-NER.shtml>
- Waswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A., N, Kaiser Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention Is All You Need. *31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)*. Long Beach, CA, USA.
- Wang, S., Yan X., Zhu, Y., Song, J., Sun, K., Li, W., Hu, L., Qi, Y., & Xu, H. (2022). New Era for Geo-Parsing to Obtain Actual Locations: A Novel Toponym Correction Method Based on Remote Sensing Images. *Remote Sensing. Special Issue "Intelligent Perception in Urban Spaces from Photogrammetry and Remote Sensing"*, 14(19), 4725. <https://doi.org/10.3390/rs14194725/>
- Wu, Y., & Wang, Q. (2019). A Categorical Compositional Distributional Modelling for the Language of Life. *arXiv:1902.09303*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.09303>
- Zhu, D., Linke, N.M., Benedetti, M., Landsman, K.A., Nguyen, N.H., Alderete, C.H., Perdomo-Ortiz, A., Korda, N., Garfoot, A., & Breckue, C. (2019). *Training of quantum circuits on a hybrid quantum computer*. Science Advances. doi: 10.1126/sciadv.aaw9918

Отримано редакцією журналу / Received: 07.03.23

Прорецензовано / Revised: 14.03.23

Схвалено до друку / Accepted: 25.03.23

Тетяна СТАРОВОЙТ, студ.
ORCID ID: 0009-0008-6335-7679
e-mail: starovoyt.tania@iill.kpi.ua

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

Юрій ЗАЙЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0001-9662-3269
e-mail: zaych@i.com.ua

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

ГІБРИДНА КВАНТОВО-ВДОСКОНАЛЕНА МОДЕЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАДАЧІ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НЕСТРУКТУРОВАНОЇ ТЕКСТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ПРОСТОРОВУ

В с т у п . Ефективне перетворення великого об'єму неструктурованих текстових даних на просторову інформацію є критично важливим для управління системами розподілу води. Це дозволяє здійснювати конверсію великих наборів текстової інформації, таких як звіти, замовлення, листи й інші документи, на точкові класи просторових об'єктів у географічних інформаційних системах. Для опрацювання цієї проблеми, у новому перспективному підході йдеться про поєднання гібридних квантово-класичних нейронних мереж із геоінформаційними технологіями.

М е т о д и . Використано гібридні квантово-вдосконалені нейронні мережі разом із методами ГС для розпізнавання іменованих сутностей, таких як особисті рахунки з їхніми адресами й геокодуванням, та елементи бухгалтерської документації Київводоканалу. Вказана інформація потім оприлюднюється на геопорталі з використанням платформи ArcGIS Enterprise у реальному часі, що є дуже перспективним для ефективного керування розподіленням води. Характеристики розробленої моделі оцінено за показниками точності, параметрами відкликання та зваженим гармонічним середнім значенням точності та відкликання.

Р е з у л ь т а т и . Отримані результати вказують, що розроблена гібридна квантово-класична модель штучного інтелекту може бути успішно застосована до трансформації великих об'ємів неструктурованої текстової інформації на просторову. Модель була інтегрована в ГС із використанням ArcGIS Enterprise платформи. Суміщаючи отримані точкові класи просторових об'єктів з уже існуючими даними та методами просторових поєднань, автори розробили інтерактивну карту з інтервалом оновлення кожні п'ять хвилин.

В и с н о в к и . Використовуючи переваги квантових обчислень і поєднуючи їх із класичним апаратним забезпеченням та класичними моделями штучного інтелекту, стало можливим досягти подібних і навіть кращих характеристик порівняно з існуючими сучасними методами для опрацювання різних завдань. Квантове оброблення природної мови є новим перспективним напрямом, який має потенціал докорінно змінити підхід, за яким аналізується та розуміється мова людини.

К л ю ч о в і с л о в а . QNLP, гібридні квантово-класичні нейронні мережі, геокодування, геоаналіз, геоінформаційні системи, ArcGIS, розпізнавання сутностей, неструктурована текстова інформація, варіаційний квантовий запальник, QLSTM, просторові об'єкти.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІЇ ІНТЕГРОВАНОЇ СППР У ПРОЦЕСАХ КЕРУВАННЯ БАГАТОЕТАПНИМ ПРОКАТНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

Вступ. Розглянуто проблему розроблення дворівневої інформаційної технології підтримки прийняття рішень у прокатному металургійному виробництві, яка охоплювала б як рівень окремих технологічних операцій, так і рівень всього виробничого процесу, спираючись на його економічні показники. Основну увагу приділено обґрунтуванню структури системи підтримки прийняття рішень (СППР) та її функціям.

Методи. Використано методи аналізу та синтезу складних систем і побудови комплексних систем керування.

Результати. Запропоновано модульну структуру автоматизованої СППР для керування металургійним виробництвом із конвертерним способом виготовлення сталі, яка містить сім окремих програмних модулів і шість баз даних. Усі обчислювальні, оптимізаційні та рекомендаційні процеси відбуваються в окремих модулях СППР. Розроблено алгоритм і схему взаємодії модулів і баз даних підприємства, сформульовано вхідну та вихідну інформацію для кожного з модулів. Передбачено, що кожен із виділених модулів, крім організації інтерфейсу вводу-виводу, розв'язує певну оптимізаційну задачу, спрямовану на покращення глобального економічного критерію ефективності виробництва. Усі результати роботи окремих модулів розробленої системи виводяться через відповідні інтерфейси і носять рекомендаційний характер. Оператор може брати їх до виконання або ж виконати дії на власний розсуд. Обидва рішення – пропонуване і прийняте – зберігаються у відповідних базах даних.

Висновки. Загалом застосування запропонованої СППР до умов прокатного виробництва за широкого асортименту продукції дозволяє зменшити собівартість виплавленої сталі на 2,5–3,8%, а готової продукції на 4,25–4,8% за рахунок додаткового зменшення немірної продукції та кількості обрізків.

Ключові слова: інформаційна технологія, СППР, прокатне виробництво, прийняття рішень, інтеграція, бази даних, інформаційна взаємодія, структура системи.

Вступ

Актуальною для металургійних підприємств із багатоетапним технологічним процесом є побудова комплексної багаторівневої інформаційної системи збору даних, керування та прийняття рішень. Зауважимо, що слід розглядати різні критерії ефективності такої системи на різних рівнях: локальні для окремих технологічних операцій і глобальні для всього виробничого процесу в цілому.

До глобальних критеріїв у загальному випадку належать обсяг незавершеного виробництва, час виконання замовлення та витратний коефіцієнт металу. Маючи фізичну, а точніше, технологічну природу, всі ці показники носять економічний характер. Адже незавершене виробництво – це втілені у металі кошти підприємства, які мали б працювати на прибуток. Надмірний час виконання замовлення часто призводить до відмови від термінових замовлень, навіть, якщо вони економічно вигідні, а збільшений показник витратного коефіцієнта підвищує собівартість продукції.

У розглянутому докладно в роботах (Технологічна інструкція, 2012; Технологічна інструкція, 2014) технологічному процесі виробництва прокатної продукції на підприємствах повного металургійного циклу можна виокремити такі процеси:

- планування виконання замовлень;
- підготовка плавлення (шихтування);
- виплавлення сталі (рафінація та розкислення);
- нагрівання, підготовка та розкроювання заготовок;
- прокатування та розкроювання готової продукції;
- контроль стану футерування з прогнозуванням терміну її роботи.

З огляду на викладене, для підвищення техніко-економічних параметрів у багатоетапному металургійному виробництві необхідне комплексне розв'язання проблеми керування організаційно-технологічними процесами плавлення, нагрівання, прокатування та контролю якості продукції. Підвищення ефективності виробництва може бути досягнуто за рахунок контролю технологічних параметрів, залишків матеріалів на кожному переділі та стану обладнання, задіяного в усіх послідовних операціях однією інтегрованою системою підтримки прийняття рішень.

Аналіз останніх досягнень і рішень. Проблема інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень та інтеграції СППР кількох технологічних операцій або навіть процесів у металургійному виробництві присвячено значну кількість робіт як вітчизняних дослідників (Чертов, 2003; Самофалов, & Ходжкін, 2011; Руденська, Левицький, & Михайлик, 2016; Рибалко, 2015; Грабовський, 2003; Пізнченко, 2009; Гейзер, 2009), так і зарубіжних (Iancu, & Cibotariu, 2013; Ganesh, 2010; Gefreter et al., 2000; Shanmugam et al., 2021; Zhou et al., 2022; Dering, Swartz, & Dogan, 2020; Fei, Xianyi, & Zhenghai, 2022; Feng et al., 2022; Hongwei et al., 2009; Zagorskina, Barbasova, & Shnaider, 2019; Van De Putte et al., 1999; Stein, Pauster, & May, 2003; Zarandi et al. 2010; Laha, Ren, & Sughanathan, 2015; Xie et al., 2021).

У роботі (Чертов, 2003) наголошено на необхідності паралельного виконання завдання всіма ланками багатоетапного виробничого процесу й актуальності створення таких систем, які не тільки оптимальним чином виконували б наявні поточні замовлення, а й прогнозували замовлення майбутніх періодів. Останнє дозволяє увести в алгоритми планування діяльності



та контролю якості виробничого процесу процедури прогностичного керування, чим значно покращити показники якості виробничого процесу, а саме термін виконання замовлення та кількість незавершеного виробництва.

На деяких виробництвах в Україні інтегровані системи автоматизованого керування впроваджено вже понад 10 років (Самофалов, & Ходикін, 2011; Рибалко, 2015; Грабовський, 2003). У функції інтегрованих систем включено автоматизацію технологічного процесу, інформаційне відстежування руху заготовок і готової продукції, моніторинг, диспетчеризацію та аналіз виробництва, а також оперативне планування виробництва.

Авторами (Руденська, Левицький, & Михайлик, 2016) запропоновано модель, що дозволяє підвищити ефективність функціонування вертикально-інтегрованої системи металургійної компанії повного циклу та забезпечити стійкість до негативних факторів зовнішнього середовища. Причому систему розглядають на найвищому економічному рівні, без деталізації технологічних процесів, які вважають детермінованими.

Установлено, що можливості технічного сполучення окремих функціональних підсистем до єдиної моделі керуючого комплексу забезпечуються такими взаємно інтегрованими системами: планування виробничих ресурсів підприємства або цеху; керування виробництвом, відкритою системою керування технологічними процесами та регулювання технологічних параметрів (Грабовський, 2003).

У роботі (Різніченко, 2009) виконано достатньо докладний аналіз існуючих інформаційних систем, які застосовують на металургійних підприємствах України, наголошено на необхідності реалізації у складі загальної інформаційної системи керування металургійним підприємством елементів реєстрації, систематизації та аналізу даних. Водночас, як і в дослідженнях (Гейзер, 2009), зазначено, що всю діяльність щодо прийняття управлінських рішень має виконувати відповідальний фахівець: менеджер, технолог, оператор тощо. Причому наголошено на важливості саме інформаційного зв'язку між окремими системами та комплексами.

Для порівняння, за кордоном на більшості великих підприємств інтеграцію інформаційних систем, створених 10–20 років тому, виконують на рівні підприємства з використанням стандартних корпоративних інформаційних систем (Iancu, & Cibotariu, 2013; Ganesh, 2010), що накладає певні обмеження. Адже будь-який універсальний механізм не дозволяє використовувати знання й аспекти виробничого процесу саме того підприємства, де подібна система застосовується.

Авторами (Gefreger et al., 2000) наголошено на необхідності інформаційної інтеграції окремих технологічних ланок багатоетапного прокатного виробництва. Для цього пропонують розроблення і впровадження відповідного корпоративного програмного комплексу виконувати на основі сховища даних і терміналів для операторів і менеджерів, задіяних у процесах.

Перспективи розвитку металургійного, зокрема і прокатного виробництва, в Індії та Китаї – країнах, що входять до лідерів у виробництві прокату – проаналізовано в (Shanmugam et al., 2021; Zhou et al., 2022). Автори наголошують на необхідності впровадження інтегрованих інформаційних технологій та підвищенні ефективності виробництва саме за економічними показниками, серед яких – витратний коефіцієнт металу та час виконання замовлень. Також запропоновано замінювати традиційний безпосередній підхід до контролю якості та сертифікації готової продукції інтелектуальними технологіями з метою прискорення та здешевлення цих процесів.

У деяких дослідженнях (Dering, Swartz, & Dogan, 2020; Fei, Xianyi, & Zhenghai, 2022; Feng et al., 2022) застосування сучасних інформаційних технологій сконцентровано на процесі рафінації сталі. Для моделювання процесів у ванні конвертера автори (Dering, Swartz, & Dogan, 2020) використовують систему диференціальних та алгебричних рівнянь, тоді як в (Fei, Xianyi, & Zhenghai, 2022) запропоновано модель на основі прямозв'язаної нейронної мережі зі зворотним поширенням помилки. Альтернативою є запропонований у роботі (Feng et al., 2022) підхід, який ґрунтується на застосуванні для визначення керуючого впливу наївної басівської мережі, навченої на попередніх прикладах з відсівом помилок. Останній може бути в подальшому застосований для моделювання процесів розкислення в межах пропонуваної інформаційної технології.

Авторами (Hongwei et al., 2009; Zagoskina, Barbasova, & Shnaider, 2019; Van De Putte et al., 1999; Stein, Pauster, & May, 2003; Zarandi et al., 2010) запропоновано використання в металургійних, зокрема і у прокатних виробництвах, технологій експертних систем. Наприклад, учені в роботі (Hongwei et al., 2009) пропонують експертну систему для підтримки прийняття рішень оператором доменної печі, що виготовляє чавун. Натомість в (Zagoskina, Barbasova, & Shnaider, 2019) виконано спробу інтелектуального керування положенням фурми під час продування конвертера киснем із метою максимізувати ефективність процесу за економічним критерієм. У дослідженнях (Van De Putte et al., 1999) ідеться про комплексну експертну систему, що охоплює своїми порадами всі дії оператора плавильного цеху від завантаження шихти до розливу готової сталі, упроваджену на одному з підприємств у Нідерландах. Утім описана система не охоплює попередні операції і орієнтована на хімічні й механічні властивості рідкої сталі, а не готової продукції. Її доповнення може служити запропонована в роботі (Stein, Pauster, & May, 2003) експертна система отримання готової продукції у виготовленні титану, якщо її адаптувати до умов виготовлення сталі. Багатоагентна експертна система, описана в (Zarandi et al., 2010), розв'язує одну з головних економічних задач технологічного процесу виплавлення сталі в конвертері – мінімізації собівартості використаних розкислювачів для виведення газових домішок після рафінації. Зазначена система, яка побудована на навчанні нечіткої нейронної мережі ANFIS, має характерний недолік – неможливість ідентифікації та інтерпретації випадків, які не зустрічалися в навчальній вибірці.

Автори (Laha, Ren, & Suganthan, 2015) пропонують застосування технологій машинного навчання у складі експертних систем для прогнозування якості готової сталі. Аналогічний підхід, але для прогнозування механічних властивостей готової продукції прокатного виробництва, запропоновано в (Xie et al., 2021). В обох випадках інформаційна технологія охоплює лише дві послідовні технологічні операції.

З огляду на викладене зазначимо, що основним недоліком підходу більшості виконавців є обмеження кількості розв'язуваних задач рівнем керування однією (іноді двома) технологічними операціями. Проблеми планування і керування виробництвом, а також автоматизація взаємодії різних рівнів системи (технологічного й економічного) з урахуванням впливу "людського фактора" практично не досліджені й не одержали відповідної промислової реалізації.

Постановка задачі. Для підвищення техніко-економічних параметрів у багатоетапному металургійному виробництві необхідне комплексне розв'язання проблеми керування організаційно-технологічними процесами плавлення, нагрівання, прокатування та контролю якості продукції.



Підвищення ефективності виробництва можна досягти за рахунок контролю технологічних параметрів, залишків матеріалів на кожному переділі та стану обладнання, задіяного в усіх послідовних операціях однією інтегрованою системою підтримки прийняття рішень. Інтегрована система керування має працювати за узагальненим критерієм оптимальності, видаючи одночасно завдання на кожен виробничий ланку з урахуванням узгодження їхніх процесів.

Для оптимізації керування процесами плавлення, нагрівання, прокатування і термічного оброблення прокатної продукції з урахуванням глобального критерію потрібні сталі та надійні інформаційні зв'язки між окремими виробничими системами, що мають носити як горизонтальний характер (між підсистемами або модулями одного рівня), так і вертикальний (між модулями прийняття рішень і робочими місцями операторів окремих етапів технологічного процесу).

Методи

В роботі використано методи аналізу та синтезу складних систем і побудови комплексних систем керування. З огляду на викладене, пропонуємо методіку взаємодії інтегрованої системи планування, контролю та керування (проектованої СППР) із виробничими системами, основу на паралельній взаємодії цехових систем керування і прийняття рішень.

Саме паралельність роботи систем реалізована завдяки автоматизованим СППР, а не послідовне виконання кожного замовлення, що міститься на поточний момент у системі, на різних етапах багатоетапного виробництва, дозволить значно скоротити середній час виконання одного замовлення, узгодити окремі ділянки за пропускну здатністю, зменшити кількість переналаштувань, скоротити кількість незавершеного виробництва, а отже в підсумку – скоротити собівартість продукції.

З урахуванням переліку процесів, які охоплює проектована СППР, та великої кількості різних джерел даних, необхідних для розв'язання задач відносно кожного з процесів, пропонується структура автоматизованої системи підтримки прийняття рішень для керування металургійним виробництвом з конвертерним способом виготовлення сталі, що зображена на рис. 1.

До системи включено шість різних баз даних, кожна з яких відповідає своєму підрозділу підприємства і містить дані, що генеруються чи використовуються цим підрозділом, а також сім модулів відповідно до зазначених вище технологічних процесів.

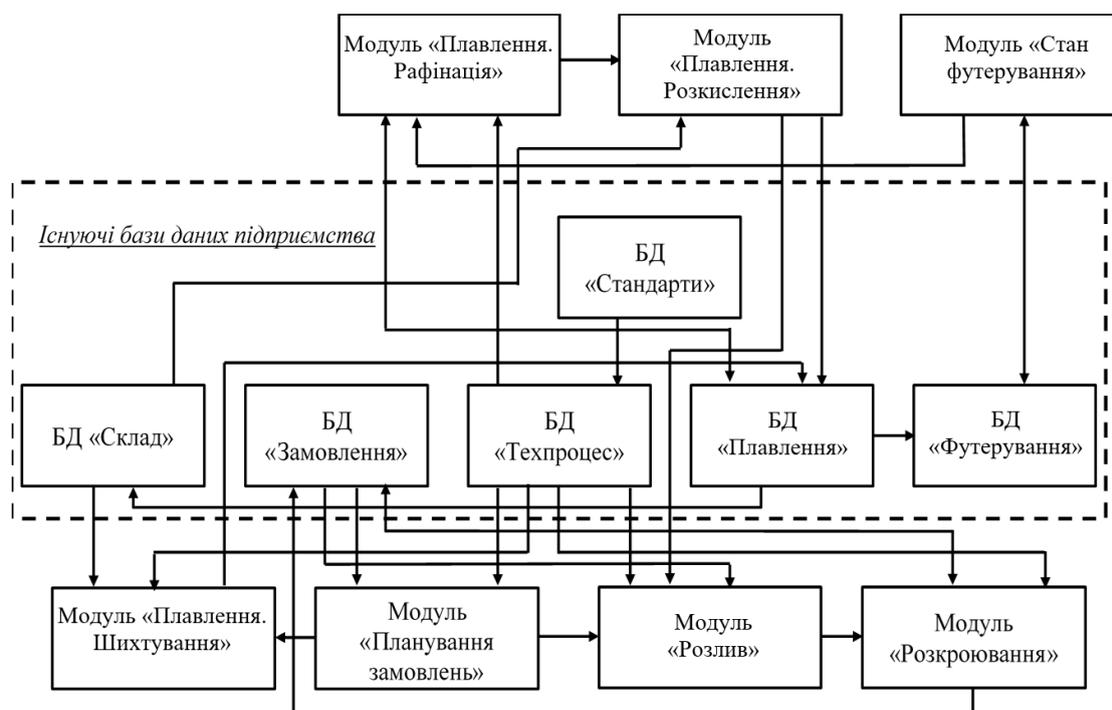


Рис. 1. Структура інтегрованої СППР прокатного виробництва

Зазвичай, бази даних, зображені на рис. 1, існують на підприємстві, адже необхідні для ведення діяльності незалежно від ступеня автоматизації потоків даних.

База даних "Склад" містить відомості про перелік витратних матеріалів, які використовують у виробничому процесі, а також технічних характеристик цих матеріалів та економічних показників (насамперед собівартість). Ця БД є спільною для виробничого відділу (на деяких підприємствах – відділ головного інженера) та відділу матеріального забезпечення.

База даних "Стандарти" містить усі стандарти на марки сталі й види готової продукції, які виготовляють на підприємстві, а також стандарти на певні технологічні операції. Цю БД веде відділ контролю якості та використовує виробничий відділ. Вона забезпечує дані для БД "Техпроцес".

База даних "Техпроцес" використовує стандарти на виготовлення готової продукції та маркувальник сталі й містить технологічні інструкції на кожен з операцій, включно з видом обладнання, яке застосовується, його налаштуваннями залежно від виду продукції, а також діями операторів ділянок технологічних процесів. Це основна база даних відділу головного інженера разом із БД "Плавлення".



База даних "Плавлення" містить відомості про весь хід виготовлення сталі в конвертерному цеху і відомості про таке:

- складові шихтування;
- перебіг процесу з основними та додатковими операціями (азотування та торкретування тощо);
- хід продувки та розкислення (використані матеріали, час, параметри дуття);
- масові, хімічні та фізичні показники готової продукції;
- відповідність замовленню.

База даних "Замовлення" формується відділом маркетингу (відділ продажів на інших підприємствах) і містить деталі замовлень, що надходять на підприємство і виконуються. Включає терміни виконання, ціну, розрахункову собівартість, вид продукції та її стандарт, умови пакування та транспортування. Використовується одразу декількома модулями системи – спочатку під час планування виконання замовлень, а потім у процесі планування контролю операцій розливу та розкרוювання заготовок і готової продукції.

Таблиця 1

Взаємодія модулів СППР керування металургійним виробництвом

№ з/п	Модуль системи	Вхідні канали		Вихідні канали	
		Джерело	Інформація	Адресат	Інформація
1	Планування замовлень	БД "Замовлення"	Обсяг замовлення, марка сталі, вид продукції, стандарт	Модуль "Плавлення. Шихтування"	План виробництва
		БД "Техпроцес"	Перелік налаштувань обладнання для випуску певної продукції, час і собівартість робіт	Модуль "Розлив"	План виробництва
2	Плавлення. Шихтування	БД "Склад"	Наявність і собівартість складових шихти	БД "Плавлення"	Шихтування плавлення
		БД "Техпроцес"	Вимоги до готової продукції + стандарти		
		Модуль "Планування замовлень"	План виробництва		
3	Плавлення. Рафінація	Модуль "Стан футерування"	Рекомендації щодо ведення плавлення	БД "Плавлення"	Параметри ведення плавлення
		БД "Техпроцес"	Вимоги до готової продукції + стандарти	Модуль "Плавлення. Розкислення"	Хімічний склад і температура сталі
		БД "Плавлення"	Початковий стан шихти		
4	Плавлення. Розкислення	Модуль "Плавлення. Рафінація"	Хімічний склад і температура сталі	Модуль "Розлив"	Маса сталі і шлаку
		БД "Склад"	Наявність і собівартість розкислювачів	БД "Плавлення"	Характеристики готової продукції, хід плавлення
		БД "Техпроцес"	Вимоги до готової продукції + стандарти		
5	Розлив	БД "Техпроцес"	Параметри злиwkів та передільних заготовок	Модуль "Розкרוювання"	Карти розкרוювання
		Модуль "Планування замовлень"	План виробництва		
		Модуль "Плавлення. Розкислення"	Маса сталі і шлаку		
		БД "Замовлення"	Перелік замовлень		
6	Розкרוювання	Модуль "Розлив"	Карти розкרוювання	БД "Замовлення"	Результати розкרוювання
		БД "Замовлення"	Перелік замовлень		
		БД "Техпроцес"	Параметри злиwkів та передільних заготовок		
7	Стан футерування	БД "Футерування"	Історія експлуатації поточного та попередніх футерувань	БД "Футерування"	Рекомендації щодо ведення плавлення
				Модуль "Плавлення. Рафінація"	Рекомендації щодо ведення плавлення

Нарешті база даних "Футерування" містить історичну агрегацію умов роботи та тривалості роботи попередніх і поточного футерувань. Цю інформацію використовують для формування рекомендації щодо ведення плавлення у відповідному модулі.

За відсутності на підприємстві тієї чи іншої БД як виокремленої інформаційної одиниці, запропонований підхід передбачає створення відповідних баз даних із масиву інформації, використовуюваного на виробництві.

Усі обчислювальні, оптимізаційні та рекомендаційні процеси відбуваються в окремих модулях СППР. Для кращого розуміння зв'язків між базами даних і модулями СППР керування металургійним виробництвом, вхідну та вихідну інформацію для кожного з модулів, зображених на рис. 1, зведено в табл. 1.

Кожен із виділених на рис. 1 модулів системи передбачає, крім організації інтерфейсу вводу-виводу, розв'язання певних оптимізаційних задач, математичні постановки яких і підходи до розв'язання описано в роботах (Hnatushenko, Zheldak, & Koriashkina, 2021; Слесарев, & Желдак, 2013; Zheldak et al., 2021). Докладно тип цих задач зведено у табл. 2.

Як видно з табл. 2, у більшості модулів розв'язуються складні прикладні задачі умовної оптимізації. Для розв'язання цих задач використовують інформаційну технологію на основі алгоритму моделювання штучної імунної



системи людини, описану в (Zheldak et al., 2021). З огляду на структуру СППР на рис. 1 і табл. 2, інтегрована система підтримки прийняття рішень металургійного виробництва має виконувати такі функції:

1. Введення, редагування, перетворення, використання, оновлення та зберігання інформації щодо технологічних процесів на виробництві, стандартів, якими визначаються ці процеси, матеріали та готова продукція, щодо стану обладнання та перебігу технологічного процесу.

2. Розв'язання математичних задач оптимізації, прогнозування, самонавчання та прийняття рішень на окремих етапах технологічного процесу виготовлення металургійної продукції на основі апріорної накопиченої інформації та поточної інформації про вхідні замовлення та перебіг технологічних процесів.

3. Організація паралельної взаємодії у реальному масштабі часу між окремими модулями та базами даних, що відповідають різним етапам технологічного процесу з урахуванням глобальних економічних критеріїв та їхнього інформаційного узгодження.

4. Всебічний контроль перебігу технологічного процесу, зокрема, наявність і якість матеріалів, стан обладнання, характеристики сталі, заготовки та готової продукції, її кількість на кожному виробничому відрізьку для забезпечення.

5. Ведення динамічної бази даних у складі інтегрованої системи, що дозволяє без витрати часу включати до плану діяльності нові замовлення, що надходять, починаючи вже з наступного етапу планування (змінна чи доба).

6. Формування у зручній для користувача і зрозумілій формі рекомендацій, які дозволяють виконувати весь комплекс робіт від отримання замовлення до видачі готової продукції.

Таблиця 2

Модулі СППР керування металургійним виробництвом і задачі, що у них розв'язуються

№ з/п	Модуль системи	Задача, що розв'язується
1	Планування замовлень	Багатокритеріальна комбінаторна задача оптимізації на перестановках
2	Плавлення. Шихтування	Багатокритеріальна дійсночислова задача умовної оптимізації
3	Плавлення. Рафінація	Прийняття рішень на основі самонавчання на прикладах із формуванням сценаріїв-вразків
4	Плавлення. Розкислення	Прийняття рішень на основі самонавчання на основі баєсовської мережі з наступною однокритеріальною оптимізацією
5	Розлив	Однокритеріальна комбінаторна задача оптимізації на двійкових матрицях
6	Розкиснення	Багатокритеріальна дійсночислова комбінаторна задача умовної оптимізації
7	Стан футерівки	Формування рекомендацій на основі зворотного висновку по регресійній моделі, побудованій із застосуванням МГВА

Результати

Викладені підходи лягли в основу комплексного програмного забезпечення, що впроваджено на базових підприємствах галузі з Дніпровського регіону. Загальний підхід до інформаційної технології супроводу підтримки прийняття рішень у прокатному виробництві й окремі модулі тестували на виконанні реальних завдань виробництва. Наведемо короткий аналіз результатів такого застосування.

Застосування описаної інтегрованої СППР до оброблення потоку замовлень металургійного підприємства ПАТ "ДМЗ" (м. Дніпро) дозволило будувати в реальному масштабі часу плани, що за часом виконання фіксованого набору завдань на 10–14 % кращі, ніж отримані за традиційною методикою. Відносний економічний ефект від застосування модуля планування замовлень становить 4,5–9,5 % для різних вхідних даних. Економічного ефекту досягають за рахунок зменшення витрат від переналаштування обладнання та розривів часу між виготовленням і відвантаженням замовлень.

Запропонована інформаційна технологія дозволяє мінімізувати сукупні витрати на виготовлення продукції за обмеженого робочого часу, використовуючи ресурс технологічного процесу на переналаштування обладнання, зменшення розривів часу між виготовленням і відвантаженням замовлень.

Водночас модуль "Розлив", що використовує математичну модель, яка передбачає пошук такої маси металу у ковші і такого її розподілу на зливки, які дозволяють б на наступних операціях розкислювати передільні заготовки і готову продукцію з останніх, мінімізуючи можливі обрізки і враховуючи поточний розмір замовлення на сортовий прокат, дозволяє зменшити витратний коефіцієнт металу за рахунок мінімізації немірної продукції та кількості обрізків на 2,4–2,5 % під час оброблення великих замовлень і на 3–4 % за виконання малих замовлень. Економічний ефект від упровадження лише цього модуля системи може становити 904–1413 тис. грн за добу у разі двозмінної роботи ливарного та прокатного цехів.

Інтелектуальну систему із самонавчанням, що лежить в основі модуля "Плавлення. Рафінація" випробувано на практиці й порівняно з плавками, що виконувались для таких самих марок сталі й типу готової продукції без використання СППР. Застосування запропонованої інформаційної технології, що використовує не всю сукупність навчальних прикладів із бази даних попередніх плавок, а лише кращі за зведеним зовнішнім критерієм з обмеженої підмножини найближчих до поточної плавки за нормалізованою метрикою умов ведення плавлення, дозволяє значно покращити техніко-економічні показники технологічного процесу. Зокрема, застосування запропонованого алгоритму самонавчання підсистеми оператора конвертера інтегрованої СППР металургійного виробництва дозволяє за наявності достатньої кількості попередніх плавок, що є аналогами поточного замовлення, зменшити собівартість виплавленої сталі на 2,5–3,8 %.

Проведено також експериментальну перевірку якості навчання підсистеми оптимізації процесу розкислення сталі, що включена у запроповану комплексну СППР як модуль "Плавлення. Розкислення". Перевірено якість добування знань, які використовує підсистема в роботі. Перевірку якості й ефективності прийнятих рішень у складі СППР виконано з використанням даних плавок одного з базових підприємств (загалом 12 039 плавок). Отримана в ході самонавчання база знань на основі мережі Баєса містить 1589 імовірнісних правил з узагальнювальним дефазифікатором на основі чотирьох нечітких вхідних змінних і трьох вихідних. Розроблену систему порівнювали з традиційною для подібних СППР системою правил на основі дерева рішень, яка складалася з 422 чітких правил висновку.



Запропонована підсистема СППР на основі мережі Баєса показала вищу точність апроксимації як на навчальній, так і на тестовій вибірці. Помилка прогнозування не перевищує 10 %, що є прийнятним для цього технологічного процесу. У разі зміщення центрів нечітких термів вихідних змінних запропонованої мережі Баєса на 10 % досягається компроміс: за загальної економії феросплавів 0,398 кг/т похибка апроксимації СППР збільшується не більше ніж на 1 %. У грошовому еквіваленті це відповідає економії близько 6,938 млн грн на рік.

У ході експериментальної перевірки впровадження інформаційної технології прогнозування стійкості футерування та підсистеми рекомендацій щодо ведення плавлення з метою збільшення терміну експлуатації футерівки отримано такі результати:

- фактичне значення стійкості футерівки за умови використання рекомендаційної підсистеми у складі СППР керування прокатним виробництвом перевищує апріорний прогноз, отриманий за статистичними даними для даної марки вогнетривів, пори року та прогнозованої інтенсивності експлуатації в середньому на 4,25 %;
- наявність системи рекомендацій і відповідного розриву між "реалістичним" прогнозним значенням стійкості та "оптимістичним" за умови оптимальних умов ведення плавлення змушує оператора конвертера проводити плавлення і обслуговування футерівки акуратніше, тим самим збільшуючи термін її експлуатації;
- якщо футерівка вже відпрацювала половину свого терміну експлуатації, прогнозне значення її стійкості з урахуванням порад, не відрізняється більше ніж на 5 % від фактичного.

Останнє дозволяє з точністю 3–5 % запланувати час зупинки конвертера на заміну футерівки ще на половині прогнозованого часу її експлуатації.

Висновки

У роботі досліджено проблему розроблення дворівневої інформаційної технології підтримки прийняття рішень у прокатному металургійному виробництві, яка охоплює як рівень окремих технологічних операцій, так і рівень усього виробничого процесу, спираючись на його економічні показники. Основну увагу приділено обґрунтуванню структури системи підтримки прийняття рішень та її функціям.

Запропоновано модульну структуру автоматизованої СППР для керування металургійним виробництвом з конвертерним способом виготовлення сталі, яка містить сім окремих програмних модулів та шість баз даних. Усі обчислювальні, оптимізаційні та рекомендаційні процеси відбуваються в окремих модулях СППР.

Розроблено алгоритм і схему взаємодії модулів і баз даних підприємства, сформульовано вхідну та вихідну інформацію для кожного з модулів. Передбачено, що кожен із виділених модулів, крім організації інтерфейсу вводу-виводу, розв'язує певну оптимізаційну задачу, спрямовану на покращення глобального економічного критерію ефективності виробництва. Усі результати роботи окремих модулів розробленої системи виводяться через відповідні інтерфейси і носять рекомендаційний характер. Оператор може прийняти їх до виконання або ж виконати дії на власний розсуд. Обидва рішення – пропонуване і прийняте – зберігаються у відповідних базах даних.

Експериментальна перевірка застосування запропонованої інтегрованої СППР до оброблення реальних замовлень показала високу ефективність. Зокрема, відносний економічний ефект від застосування модуля планування замовлень становить 4,5–9,5 % для різних вхідних даних, водночас кількість немірної продукції та кількість обрізків зменшуються на 2,4–2,5 % за обробки великих замовлень і на 3–4 % за виконання малих.

Загалом застосування запропонованої СППР до умов прокатного виробництва у разі широкого сортаменту продукції дозволяє зменшити собівартість виплавленої сталі на 2,5–3,8 %, а готової продукції – на 4,25–4,8 % за рахунок додаткового зменшення немірної продукції та кількості обрізків.

Внесок авторів: Тімур Желдак – розроблення методів і методології дослідження, синтез системи прийняття рішень, опис результатів; Ілля Зіборов – огляд літературних джерел, збір емпіричних даних, проведення емпіричних досліджень і написання висновків.

Список використаних джерел

- Гейзер, Г. К. (2009). Проблеми підвищення ефективності внутрішньозаводського планування. *Проблеми економіки та управління у промислових регіонах: Мат. Всеукр. наук.-практ. конф.* (с. 111–112). Маріуполь, Маріупольський державний університет.
- Грабовський, Г. Г. (2003). Інтегровані автоматизовані системи керування товстостіловими прокатними станами (розвиток теорії, моделі, алгоритми): [Автореф. дис. д-р техн. наук: спец. 05.13.07 "Автоматизація процесів керування"]. Дніпро, Національний гірничий університет.
- Рибалко, Л. П. (2015). Застосування сучасних корпоративних інформаційних систем в управлінні підприємствами. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки*, 15 (3), 82–85.
- Різнченко, Л. В. (2009). Досвід впровадження корпоративних інформаційних систем управління на вітчизняних підприємствах. *Вісник КДПУ ім. М. Остроградського*, 4(57), Ч. 2, 184–189.
- Руденська, В. В., Левицький, С. І., & Михайлик, Д. П. (2016). Моделі інформаційної підтримки процесів інтеграції у металургійній галузі. *Часопис економічних реформ*, (4), 34–40.
- Самофалов, В. В., & Ходикін, В. Ф. (2011). Інформаційні технології як основа побудови системи управління металургійного підприємства. *Моделювання регіональної економіки*, (2), 77–85.
- Слесарев В. В., & Желдак, Т. А. (2013). Математична модель матеріально-теплого балансу плавки в кисневому конвертері та критерій її оптимізації. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (1), 97–102.
- Технологічна інструкція Т1 243-ТР3-01-2002. (2012). *Виробництво сталевих безшовних труб на трубпрокатній установці "ТПА-200" у трубному цеху № 4*. Дніпро: ВАТ "Інтерпайп-НТЗ".
- Технологічна інструкція. (2014). *Технологічна інструкція по виробництву блюмів, заготовок і фасонних профілів в прокатному цеху № 1*. Дніпро: ДМЗ ім. Петровського.
- Чертов, А. Д. (2003). Паралельний інжиніринг при безперервному вдосконаленні бізнес-процесів і базових систем управління в металургії. *Металурге*, (7), 47–61.
- Dering, D., Swartz, C., & Dogan, N. (2020). Dynamic modeling and simulation of basic oxygen furnace (BOF) operation. *Processes*, 8 (4), 483. <https://doi.org/10.3390/pr8040483>
- Fei, H., Xiangyi, C., & Zhenghai, Z. (2022). Prediction of oxygen-blowing volume in BOF steelmaking process based on BP neural network and incremental learning. *High Temp. Mater. Process*, (41), 403–416. <https://doi.org/10.1515/htmp-2022-0035>
- Feng, K., Yang, L., Su, B., Feng, W., & Wang, L. (2022). An integration model for converter molten steel end temperature prediction based on Bayesian formula. *Steel Res. Int*, 93 (2). <https://doi.org/10.1002/srin.202100433>
- Ganesh, R. (2010). *Expert System Applications in Sheet Metal Forming*. InTech. <http://doi.org/10.5772/7074>.
- Gefferer, R., Kraft, G., Busch, S., Winterhaider, L., Garbracht, K., & Wiese, T. (2000). Supply Chain Management in the steel industry. *Stahl-und-eisen*, (120), 31–36.



- Hnatushenko V. V., Zheldak, T. A., & Koriashkina, L. S. (2021). Mathematical Model of Steel Consumption Minimization Considering the Two-Stage Billets Cutting. *Naukovyi Visnyk Natsional'noho Hirnychoho Universytetu*, (2), 118–124. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/118>
- Hongwei, G., Jianliang, Z., Haibin, Z. & Xu, Z. (2009). Application of Clustering Algorithm to Blast Furnace Expert System. *Int. Conf. on Advanced Computer Control, Singapore*, (p. 171–175). <https://doi.org/10.1109/ICACC.2009.80>
- Laha, D., Ren, Y., & Suganthan, P. N. (2015). Modeling of steelmaking process with effective machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*, 42(10), 4687–4696. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.030>
- Iancu, E., & Cibotariu, I. (2013). Theoretical and experimental research on the use of expert systems (ES) in assessing risks of failure in metallurgical companies. *Metalurgija*, 52(2), 279–281.
- Shanmugam, S. P., Nurni, V. N., Manjini, S., Chandra, S., & Holappa, L. E. K. (2021). Challenges and Outlines of Steelmaking toward the Year 2030 and Beyond–Indian Perspective. *Metals*, (11), 1654. <https://doi.org/10.3390/met11101654>
- Stein, E. W., Pauster, M. C. & May, D. (2003). A knowledge-based system to improve the quality and efficiency of titanium melting. *Expert Systems with Applications*, 24(2), 239. [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(02\)00152-5](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(02)00152-5)
- Van De Putte, L., Haers, F., Haers, L., & Vansteenkiste H. (1999). Expert system for the control of liquid steel production at Sidmar. *Rev. Met. Paris*, 96 (6), 721–728. <https://doi.org/10.1051/metal/199996060721>
- Xie, Q., Suvarna, M., Li, J., Zhu, X., Cai, J., & Wang, X. (2021). Online prediction of mechanical properties of hot rolled steel plate using machine learning. *Materials & Design*, (197), 109201. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109201>
- Zagoskina, E. V., Barbasova, T. A. & Shnaider, D. A. (2019). Intelligent Control System of Blast-furnace Melting Efficiency. *Int. Multi-Conf. on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk*, 0710-0713. <http://10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958221>
- Zarandi, M. H. F.; Avazbeigi, M.; Anssari M. H. & Ganji B. A *Multi-Agent Expert System for Steel Grade Classification Using Adaptive Neuro-fuzzy Systems*, 2010.
- Zheldak, T., Ziborov, I., Lyman, V., & Zhuk, A. (2021). Efficiency Improvement of the Algorithm Based on an Artificial Immune System Modeling Applied to Continuous and Combinatorial Problems. *CEUR Workshop Proceedings*, (3106), 82–95.
- Zhou, D., Xu, K., Lv, Z., Yang, J., Li, M., He, F., & Xu, G. (2022). Intelligent Manufacturing Technology in the Steel Industry of China: A Review. *Sensors*, (22), 8194. <https://doi.org/10.3390/s22218194>

References

- Chertov, A. D. (2003). Parallel Engineering under Continuous Improvement of Business-processes and Base Control Systems in Metallurgy. *Metalworker*, (7), 47–61 [in Ukrainian].
- Dering, D., Swartz, C., & Dogan, N. (2020). Dynamic modeling and simulation of basic oxygen furnace (BOF) operation. *Processes*, 8 (4), 483. <https://doi.org/10.3390/pr8040483>
- Fei, H., Xianyi, C., & Zhenghai, Z. (2022). Prediction of oxygen-blowing volume in BOF steelmaking process based on BP neural network and incremental learning. *High Temp. Mater. Process*, (41), 403–416. <https://doi.org/10.1515/htmp-2022-0035>
- Feng, K., Yang, L., Su, B., Feng, W., & Wang, L. (2022). An integration model for converter molten steel end temperature prediction based on Bayesian formula. *Steel Res. Int*, 93 (2). <https://doi.org/10.1002/srin.202100433>
- Ganesh, R. (2010). *Expert System Applications in Sheet Metal Forming*. InTech. <http://doi.org/10.5772/7074>
- Gefrerer, R., Kraft, G., Busch, S., Winterhalder, L., Garbracht, K., & Wiese, T. (2000). Supply Chain Management in the steel industry. *Stahl-und-eisen*, (120), 31–36.
- Geyzer, G. K. (2009). Problems of the Intra-Plant Planning Efficiency Increase. *Problems of Economics and Control in Industrial Regions: Proceeding of All-Ukrainian Scientific-Practical Conference in Mariupol*, (p. 111–112). Mariupol State University [in Ukrainian].
- Grabovsky, G. G. (2003). Integrated Automated Systems of the Thick Plates Rolling Mills Control (Theory, Development, Models, Algorithms): [Abstract of the DSc (Engin.) Thesis: Speciality. 05.13.07 "Control Processes Automation"]. Dnipro, National Mountain University [in Ukrainian].
- Hnatushenko V. V., Zheldak T. A., & Koriashkina, L. S. (2021). Mathematical Model of Steel Consumption Minimization Considering the Two-Stage Billets Cutting. *Naukovyi Visnyk Natsional'noho Hirnychoho Universytetu*, (2), 118–124. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/118>
- Hongwei, G., Jianliang, Z., Haibin, Z. & Xu, Z. (2009). Application of Clustering Algorithm to Blast Furnace Expert System. *Int. Conf. on Advanced Computer Control, Singapore* (p. 171–175). <https://doi.org/10.1109/ICACC.2009.80>
- Iancu, E., & Cibotariu, I. (2013). Theoretical and experimental research on the use of expert systems (ES) in assessing risks of failure in metallurgical companies. *Metalurgija*, 52(2), 279–281.
- Laha, D., Ren, Y., & Suganthan, P. N. (2015). Modeling of steelmaking process with effective machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*, 42(10), 4687–4696. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.030>
- Riznichenko, L.V. (2009). Experience of Corporative Informational Systems Implementation at Domestic Enterprises. *Herald of KDPU after Ostrogradskiy*, 4(57), P. 2, 184–189 [in Ukrainian].
- Rudenska, V. V., Levitskiy, S. I., & Mikhaylik, D. P. (2016). Information Support Models of the Integration Processes in Metallurgy Industry. *Chronicles of Economic Reforms*, (4), 34–40 [in Ukrainian].
- Rybalko, L. P. (2015). Use of Modern Corporative Information Systems in Enterprise Management. *Scientific Herald of the Kherson State University: Economic Sciences*, 15 (3), 82–85 [in Ukrainian].
- Samofalov, V. V., & Hodikin, V. F. (2011). Informational Technologies as a bases for creation of Metal Plant Control System. *Regional Economics Simulation*, (2), 77–85. [in Ukrainian].
- Shanmugam, S. P., Nurni, V. N., Manjini, S., Chandra, S., & Holappa, L. E. K. (2021). Challenges and Outlines of Steelmaking toward the Year 2030 and Beyond–Indian Perspective. *Metals*, (11), 1654. <https://doi.org/10.3390/met11101654>
- Slesarev, V. V., & Zheldak, T. A. (2013). Mathematical Model of the Material-Heat Balance of Melting in Oxygen Converter and its Optimization Criteria. *Scientific Herald of the National Mining University*, (1), 97–102 [in Ukrainian].
- Stein, E. W., Pauster, M. C. & May, D. (2003). A knowledge-based system to improve the quality and efficiency of titanium melting. *Expert Systems with Application*, 24(2), 239. [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(02\)00152-5](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(02)00152-5)
- Technological Instruction TI 243-TP3-01-2002. (2012). *Manufacturing of the Steel Seamless Pipes on the pipe rolling mill "TPA-200" in the pipe Workshop № 4*. Dnipro: OSC "Interpipe-NTZ" [in Ukrainian].
- Technological Instruction. (2014). *Technological instruction on manufacturing of the blooms, metal workpieces and shaped profiles in rolling workshop № 1*. Dnipro: DMZ after Petrovskiy [in Ukrainian].
- Van De Putte, L., Haers, F., Haers, L., & Vansteenkiste, H. (1999). Expert system for the control of liquid steel production at Sidmar. *Rev. Met. Paris*, 96 (6), 721–728. <https://doi.org/10.1051/metal/199996060721>
- Xie, Q., Suvarna, M., Li, J., Zhu, X., Cai, J., & Wang, X. (2021). Online prediction of mechanical properties of hot rolled steel plate using machine learning. *Materials & Design*, (197), 109201. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109201>
- Zagoskina, E. V., Barbasova, T. A. & Shnaider, D. A. (2019). Intelligent Control System of Blast-furnace Melting Efficiency. *Int. Multi-Conf. on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk*, 0710-0713. <http://10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958221>.
- Zarandi, M. H. F., Avazbeigi, M., Anssari M. H. & Ganji B. (2010). *A Multi-Agent Expert System for Steel Grade Classification Using Adaptive Neuro-fuzzy Systems*.
- Zheldak, T., Ziborov, I., Lyman, V., & Zhuk, A. (2021). Efficiency Improvement of the Algorithm Based on an Artificial Immune System Modeling Applied to Continuous and Combinatorial Problems. *CEUR Workshop Proceedings*, (3106), 82–95.
- Zhou, D., Xu, K., Lv, Z., Yang, J., Li, M., He, F., & Xu, G. (2022). Intelligent Manufacturing Technology in the Steel Industry of China: A Review. *Sensors*, (22), 8194. <https://doi.org/10.3390/s22218194>

Отримано редакцією журналу / Received: 10.09.23
 Прорецензовано / Revised: 11.09.23
 Схвалено до друку / Accepted: 11.09.23



Timur ZHELDAK, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-4728-5889
e-mail: zheldak.t.a@nmu.one
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Ilya ZIBOROV, PhD Student
ORCID ID: 0000-0002-3118-387X
e-mail: ziborov.i.k@nmu.one
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

THE STRUCTURE AND FUNCTIONS OF THE INTEGRATED DSS IN THE MULTI-STAGE ROLLING PRODUCTION MANAGEMENT PROCESSES

B a c k g r o u n d . *The problem of a two-level information technology development of decision-making support in terms of metallurgical rolling production was considered. Both levels of individual technological operations and the entire production process are included, basing on economic indicators of the last one. Justification of the decision-making support system (DSS) structure and its functions is mainly focused on.*

M e t h o d s . *Methods of complex systems analysis and synthesis as well as complex control systems design are used.*

R e s u l t s . *A modular structure of an automated DSS for managing metallurgical production, based on BOF steelmaking, is proposed, which contains seven separate software modules and six databases. All calculation, optimization and recommendation processes are implemented in separate modules of the DSS. An algorithm and scheme of interaction between modules and enterprise databases are developed. Input and output information for each of the modules is formulated. It is assumed that each of the selected modules, in addition to the organization of the input-output interface, performs the solution of a certain optimization problem aimed at improving the global economic criterion of production efficiency. All the results of the individual modules performance of the developed system are displayed through the appropriate interfaces and are of a recommendatory nature. The operator might accept them for implementation or perform actions at his own discretion. Both decisions, proposed and adopted, are stored in the respective databases.*

C o n c l u s i o n s . *In general, use of the proposed DSS in rolling production with the wide assortment of the products allows one to decrease cost of manufacturing of the molten steel by 2,5–3,8%, as well as that of the final products – by 4,25–4,8% due to the additional decrease in unmeasured byproducts and the number of the cut-off parts.*

K e y w o r d s : *information technology, DSS, rolling production, decision-making, integration, databases, information interaction, system structure.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



МЕРЕЖНІ Й ІНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГІЇ



Андрій ДУДНИК¹, д-р техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-1339-7820
e-mail: andrii.dudnik@knu.ua

Олександр ТРУШ¹, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-4188-2850
e-mail: oleksandr.trush@knu.ua

Ольга ЛЕЩЕНКО¹, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-3997-2785
e-mail: olga.leshchenko@knu.ua

Наталія ДАХНО¹, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-3892-4543
e-mail: nataliia.dakhno@knu.ua

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ У БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ МІКРОПРОЦЕСОРНИМ ЧАСТОТОМІРОМ

Вступ. Нині існує проблема обмежених ресурсів окремих вузлів сенсорних мереж, водночас для розв'язання багатьох задач (зокрема і позиціонування) виникає необхідність розроблення затратних методів для спільної роботи всіх вузлів мережі. Однією з таких задач є задача локалізації вузлів сенсорної мережі із самоорганізацією. Вона полягає у визначенні координат індивідуальних сенсорів без використання зовнішньої інфраструктури. З огляду на важливість інформації про розміщення об'єктів і людей, задача локалізації багато досліджувалась у минулому, і тому для її розв'язання розроблено велику кількість систем. Найвідомішою з них є система Global Positioning System (GPS). Однак підхід GPS не може бути застосований у бездротових сенсорних мережах у зв'язку з вимогами до наявності великої кількості додаткової інфраструктури (напр., супутників).

Методи. Використано методи аналізу та синтезу складних систем і комп'ютерного моделювання.

Результати. Запропоновано застосовувати метод вимірювання відстані між об'єктами на основі часу прибуття сигналу. Дано оцінку похибки вимірювання частоти під час вимірювання високих і низьких частот. Визначено, що при дослідженнях періодичних процесів у широкому діапазоні частот для досягнення заданої точності доцільно в діапазоні високих частот застосовувати цифровий частотомір, а в діапазоні низьких частот переходити до вимірювання періоду. Досліджено та побудовано графіки похибок квантування у процесі вимірювання частоти та періоду. Побудовано алгоритм роботи мікропроцесорного частотоміра, що дозволяє досліджувати періодичні процеси у широкому діапазоні. Запропоновано структурну схему мікропроцесорного частотоміра, яка дозволяє реалізувати наведений алгоритм.

Висновки. Впровадження розробленого мікропроцесорного частотоміра дозволить суттєво підвищити ефективність бездротових сенсорних мереж завдяки точнішому визначенню розташувань елементів мережі.

Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, локалізація, відстань, мікропроцесорний частотомір, похибка вимірювання відстані.

Вступ

Нині бездротові сенсорні мережі (БСМ) є важливим інструментом дослідження фізичного світу. Їхня важливість пов'язана з новими можливостями використання, що обумовлено такими характеристиками БСМ, як відсутність необхідності у кабельній інфраструктурі, мініатюрність вузлів, низьке споживання електроенергії, вбудований радіоінтерфейс, досить висока обчислювальна здатність, порівняно невелика вартість. Усе це зробило можливим їхнє широке застосування у багатьох сферах людської діяльності з метою автоматизації процесів збору інформації, моніторингу, контролю характеристик різноманітних технічних і природних об'єктів.

Предметом цього дослідження є бездротова сенсорна мережа, у якій запропоновано використовувати мікропроцесорний частотомір, що вимірює частоту надходження сигналів як величину, обернену до періоду між сигналами, на основі якої визначають відстань між об'єктами.

Методом дослідження є імітаційне моделювання сигналів різної частоти з метою оцінювання похибки мікропроцесорного частотоміра.

Метою дослідження є оцінювання похибки мікропроцесорного частотоміра, розроблення алгоритму його роботи та структурної схеми.

Аналіз останніх досягнень і рішень. Питанням дослідження інформаційно-вимірювальних систем, зокрема і дослідженням технологій моделювання, управління і взаємодії комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин (напр., відстані між об'єктами), присвячено роботи сучасних вчених, серед яких:

- роботи (Квасніков, & Хаєйн, 2013а; Квасніков та ін., 2013b; Орнатський, Михалко, & Осмоловський, 2014), які присвячено вимірюванню відстані засобами вимірювальної техніки;

- дослідження (Akyildiz, 2008; Boukerche, & Oliveira, 2017; Boukerche, Oliveira, & Nakamura, 2008; Brooks, & Iyengar, 2009; Hofmann-Wellenho, Lichtenegger, & Collins, 2013), які присвячено вимірюванню відстані засобами бездротових сенсорних мереж;

- роботи (Intanagonwiwat, Govindan, & Estrin 2008; Niculescu, & Nath, 2009; Priyantha, Balakrishnan, & Teller, 2016; Savvides, Han, & Strivastava, 2010; Yu, Govindan, & Estrin, 2011), які, крім вимірювання відстані, також присвячено аналізу характеристик самих сенсорних мереж.

© Дуднік Андрій, Труш Олександр, Лещенко Ольга, Дахно Наталія, 2023



Авторами роботи (Квасніков, & Хаєїн, 2013а) запропоновано використовувати інтернет для управління вимірювальною головкою, але в аналізі та корегуванні результатів вимірювання інтернет участі не бере. Зміст праці (Квасніков та ін., 2013b) присвячено розробленню аналогових інтерфейсів інформаційних вимірювальних систем, але в ній не розглянуто засоби збільшення їхньої продуктивності. У роботі (Орнатський, Михалко, & Осмоловський, 2014), ідеться про корекцію похибок вимірювання через інформаційно-вимірювальну систему, але пропонується використовувати кабельний зв'язок. У дослідженні (Akyildiz, 2008) виконано загальний огляд існуючих технологій сенсорних мереж і лише аналіз їхніх недоліків.

У роботах (Boukerche, & Oliveira, 2017; Boukerche, Oliveira, & Nakamura, 2008) розглянуто алгоритми локалізації, що можуть покращити процес вимірювання відстані між об'єктами.

Авторами праць (Brooks, & Iyengar, 2009; Hofmann-Wellenho, Lichtenegger, & Collins, 2013) описано наявні проблеми об'єднання сенсорних мереж і шляхи їхнього розв'язання. У роботах (Intanagonwiwat, Govindan, & Estrin 2008; Niculescu, & Nath, 2009; Priyantha, Balakrishnan, & Teller, 2016; Savvides, Han, & Strivastava, 2010; Yu, Govindan, & Estrin, 2011) ідеться про методи локалізації, що застосовують супутникові навігаційні системи, зокрема і в роботі (Yu, Govindan, & Estrin, 2011) також наведено дані про енергозберігальні технології для сенсорних мереж.

У нашій роботі запропоновано розглянути рекомендації щодо покращення технічних характеристик бездротових сенсорних мереж за допомогою додаткового застосування у пристроях мережі мікропроцесорних частотомірів, з метою покращення точності вимірювання.

Постановка задачі. У процесі побудови приладів часто виникає необхідність у реалізації функції вимірювання частотно-часових параметрів сигналів (період, частота). Вимірювання відстані у бездротових сенсорних мережах є однією з таких задач.

Вимірювання здійснюють за принципом визначення координат на основі часу прибуття сигналу. У цьому випадку, відстань між двома вузлами безпосередньо пропорційна часу, протягом якого сигнал поширюється від одного пункту до іншого. Інформаційна складова відісланого сигналу містить час відправки. Цю відстань, вимірюють за часом відправки сигналу t_1 і часом досягнення ним вузла приймача t_2 , відстань між відправником і приймачем визначають за формулою

$$d = s_r(t_2 - t_1),$$

де s_r – швидкість поширення радіосигналу (швидкість світла), t_1 і t_2 – часи, коли сигнал відіслано і отримано (рис. 1) (Dudnik et al., 2020a; Dudnik et al., 2021; Dudnik et al., 2020b).

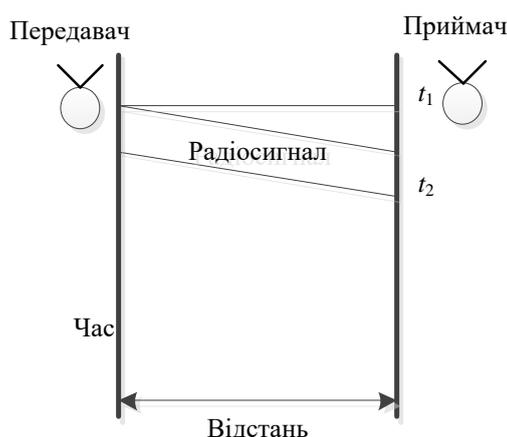


Рис. 1. Визначення відстані за допомогою часу прибуття сигналу

Далі пропонується здійснювати вимірювання частоти надходження сигналів f як величину, обернену проміжку між часом надходження сигналів $(t_2 - t_1)$.

У разі безпосереднього (прямого) вимірювання частоти періодичного сигналу найвагомішими є дві складові похибки – міри і порівняння. Похибка міри зумовлена нестабільністю частоти кварцового генератора. Ця складова похибки може бути відчутною під час вимірювання дуже високих частот. Похибку порівняння головним чином визначають похибкою квантування частоти $\delta_{кч}$. У вимірюванні низьких частот похибка квантування є визначальною складовою похибки вимірювання. Наприклад, якщо вимірюють частоту $f_x = 10$ Гц при $t_0 = 1$ с, то максимальна похибка квантування

$$\delta_{кч} = \frac{100\%}{f_x t_0} = \frac{100\%}{10 \cdot 1} = 10\%,$$

що неприпустимо.

Отже, через великі похибки квантування низькі частоти безпосередньо вимірюють цифровим частотоміром із невисокою точністю. Тому розв'язання завдання зменшення впливу похибки квантування на результати вимірювання завдяки було одним із важливих напрямів розроблення цифрової частотовимірювальної техніки (Кухарчук та ін., 2004).

Методи

В роботі пропонується використовувати методи аналізу та синтезу складних систем, вимірювання і комп'ютерного моделювання. Одним із них є метод зменшення похибки квантування.



Метод зменшення похибки квантування мікропроцесорного частотоміра. Перед тим, як розглядати мікропроцесорний частотомір, який радикально розв'язує вказане завдання, зупинимось на чотирьох способах зменшення похибки квантування під час вимірювання частоти:

1. Збільшення тривалості зразкового часового інтервалу t , тобто часу вимірювання. Проте можливості такого способу обмежені, оскільки для одержання малої похибки квантування (напр., $\delta_k = 0,01\%$; $f_x = 10$ Гц) потрібний дуже великий час вимірювання:

$$t_0 = \frac{100\%}{\delta_{кч} \cdot f_x} = \frac{100\%}{0,01 \cdot 10} = 1000 \text{ с.}$$

2. Збільшення кількості імпульсів, які квантують зразковий часовий інтервал t_0 , що досягається множенням вимірюваної частоти f_x . Виконання такого способу поєднано із застосуванням додаткового блока помножувача частоти, що ускладнює і підвищує вартість апаратурної частини.

3. Врахування випадкової природи похибки квантування. Забезпечується проведення багаторазових вимірювань і усереднення їхніх результатів. Це ефективний шлях зменшення впливу випадкової похибки на результат вимірювання.

4. Безпосереднє вимірювання періоду досліджуваного сигналу з наступним обчисленням частоти $f_x = 1/T_x$. Цей шлях дозволяє різко зменшити похибку квантування у процесі вимірювання низьких частот.

Результати

Застосуємо запропоновані методи в практичних ситуаціях та оцінимо вигравш який при цьому отримується.

Щоб побачити ефект, якого досягають, скористаємось наведеним раніше прикладом. Перейдемо до вимірювання періоду. Частота $f_x = 10$ Гц. Відповідний період $T_x = 0,1$ с. Сформуємо стробувальний імпульс тривалістю, що дорівнює періоду T_x , і проквантуємо його імпульсами, частота проходження яких $f_0 = 10$ МГц (що зазвичай має місце в цифрових частотомірах). У цьому разі похибка квантування

$$\delta_{кч} = \frac{100\%}{T_x f_0} = \frac{100\%}{0,1 \cdot 10^7} = 10^{-4}\%.$$

Можна дійти висновку, що непряме вимірювання частоти $f_x = 1/T_x$ у цьому випадку дозволило різко підвищити точність порівняно з прямим вимірюванням частоти: похибка квантування зменшилась у 100 000 разів. Однак при вимірюванні високих частот (напр., $f_x = 106$ Гц, $t_0 = 1$ с, $f_0 = 10$ Гц) похибка квантування цифрового частотоміра

$$\delta_{кч} = \frac{100\%}{t_0 f_x} = \frac{100\%}{0,1 \cdot 10^6} = 10^{-4}\% ,$$

а похибка квантування цифрового вимірювача періоду надмірно зростає:

$$\delta_{кч} = \frac{100\% f_x}{f_0} = \frac{100\% \cdot 10^6}{10^7} = 10\% .$$

Дослідження методу зменшення похибки квантування мікропроцесорного частотоміра. Отже, у дослідженнях періодичних процесів у широкому діапазоні частот для досягнення заданої точності доцільно в діапазоні високих частот застосовувати цифровий частотомір, а в діапазоні низьких частот переходити до вимірювання періоду (рис. 2, 3).

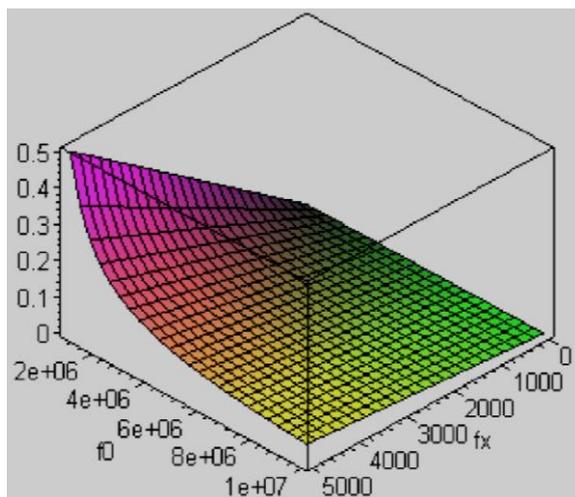


Рис. 2. Похибка квантування вимірювача періоду

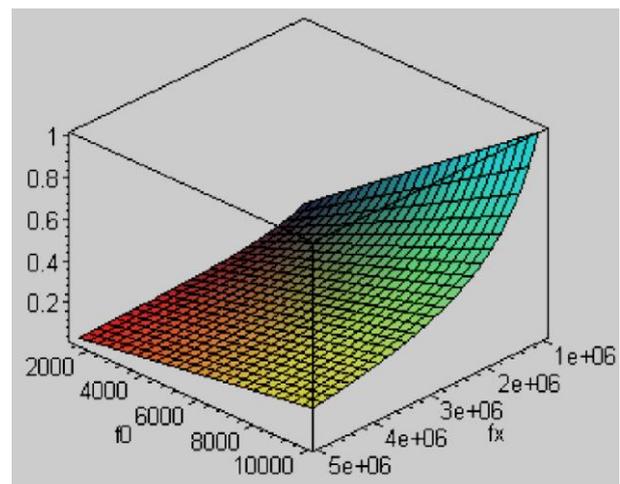


Рис. 3. Похибка квантування вимірювача частоти

Спочатку налаштовують програму на режим вимірювача періоду.

Установлюють коефіцієнт подільника частоти $K = 1$ і вимірюють невідому частоту f_x . Вимірювану частоту подають на вхід аналогового компаратора.

Алгоритм роботи мікропроцесорного частотоміра, що дозволяє досліджувати періодичні процеси у широкому діапазоні, зображено на рис. 4.

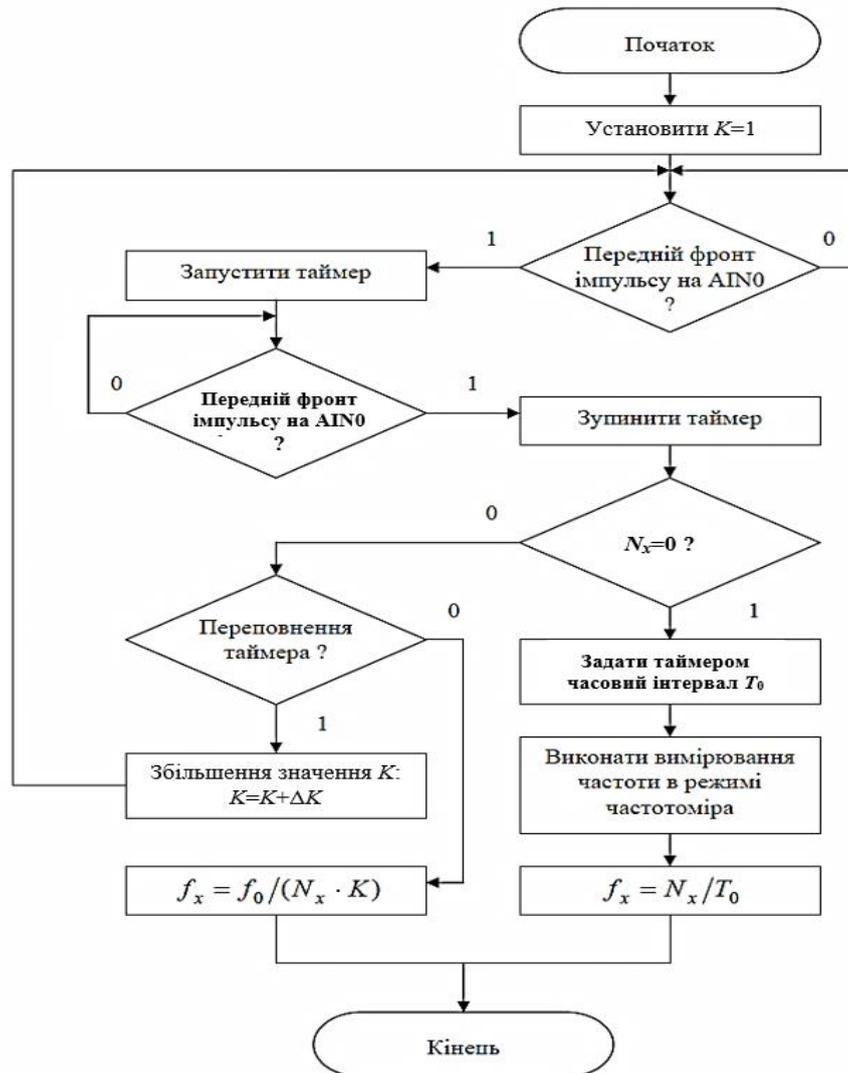


Рис. 4. Алгоритм визначення похибки квантування вимірювача частоти

Аналоговий компаратор вибрано з тієї причини, що він має досить гнучку програмну обробку інформації: програміст може вибрати пряму програмну обробку або обробку за перериванням. За переднім фронтом імпульсу на вході *AIN0* аналогового компаратора запускають таймер на рахування імпульсів f_0/K . За наступним переднім фронтом імпульсу на вході *AIN0* аналогового компаратора (після закінчення періоду T_x) таймер мікроконтролера зупиняють і підраховують кількість імпульсів N_x .

Якщо $N_x = 0$ (частота f_0 недостатня для спрацювання вимірювача періоду), то задають за допомогою таймера часовий інтервал t_0 (наприклад, $t_0 = 1$ с) і переходять у режим вимірювання частоти. Частоту обчислюють за формулою $f_x = N_x/T_0$.

Структурну схему мікропроцесорного частотоміра, яка дозволяє реалізувати наведений алгоритм, зображено на рис. 5.

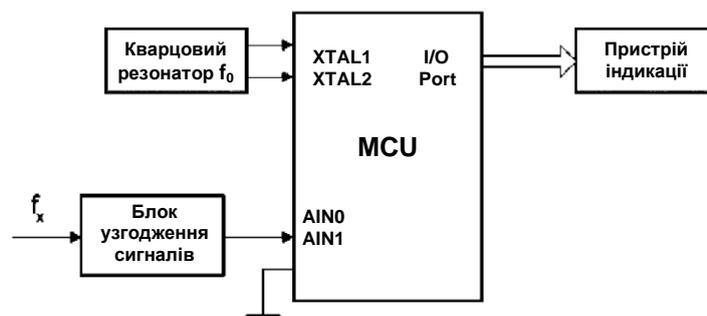


Рис. 5. Мікропроцесорний частотомір



Якщо $N_x \neq 0$, то перевіряють переповнення таймера мікроконтролера. У разі невиконання цієї умови обчислюють частоту, в іншому випадку збільшують коефіцієнт подільника частоти $K = K + \Delta K$ і повертаються до вимірювання періоду. Частоту обчислюють за формулою $f_x = f_0/(N_x \cdot K)$.

Висновки

Обґрунтовано застосування методу вимірювання відстані між об'єктами, на основі часу прибуття сигналу.

Дано оцінку похибки вимірювання частоти під час вимірювання високих і низьких частот.

Визначено, що у дослідженнях періодичних процесів у широкому діапазоні частот для досягнення заданої точності доцільно в діапазоні високих частот застосовувати цифровий частотомір, а в діапазоні низьких частот переходити до вимірювання періоду.

Проведено дослідження та побудовано графіки похибок квантування під час вимірювання частоти та періоду.

Побудовано алгоритм роботи мікропроцесорного частотоміра, що дозволяє досліджувати періодичні процеси у широкому діапазоні.

Запропоновано структурну схему мікропроцесорного частотоміра, яка дозволяє реалізувати наведений алгоритм.

Внесок авторів: Андрій Дуднік – розроблення методів і методології дослідження та створення структурної схеми мікропроцесорного частотоміра; Олександр Труш – обґрунтування застосування методу вимірювання відстані між об'єктами та опис результатів дослідження; Ольга Лещенко – огляд літературних джерел і написання висновків; Наталія Дахно – побудова алгоритму роботи мікропроцесорного частотоміра та збір емпіричних даних.

Список використаних джерел

- Квасніков, В. П., & Хаєйн, Т. М. (2013). Концепція повірки координатно-вимірювальних машин через Інтернет. *Метрологія та прилади*, (6), 48–53.
- Квасніков, В. П., Орнатський, Д. П., Нічікова, Т. П., & Гаврилов, І. В. (2013). Способи побудови аналогових інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем механічних величин. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, (1), 164–169.
- Кухарчук, В. В., Кучерук, В. Ю., Долгополов, В. П., & Грумінська, Л. В. (2004). *Метрологія та вимірювальна техніка*. УНІВЕРСУМ-Вінниця. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/2716/000137.pdf?sequence=1>
- Орнатський, Д. П., Михалко, М. В., & Осмоловський, О. І. (2014). Аналоговий інтерфейс для дистанційних вимірювань переміщень диференціально-трансформаторними індуктивними датчиками. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 1/2 (67), 52–57.
- Akyildiz, I. F. (2008). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks. IEEE Communications Magazine*, 250.
- Boukerche, A., & Oliveira H. (2017). Towards an integrated solution for node localization and data routing in sensor networks. *22th IEEE Symposium on Computers and Communications* (p. 449–454). Aveiro, Portugal. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Boukerche, A., Oliveira, H., & Nakamura, E., (2008). A novel location-free greedy forward algorithm for wireless sensor networks. *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications, Beijing, China*. (p. 2096–2101). Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Brooks, R. R., & Iyengar, S. S. (2009). *Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Dudnik, A., Daria, P., Kobylychuk, M., Domkiv, T., Dahno, N., & Leshchenko, O. (2020). Intrusion and Fire Detection Method by Wireless Sensor Network. *2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory* (p. 211–215). Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dudnik, A., Kuzmich, L., Trush, O., Domkiv, T., Leshchenko, O., & Vyshnivskiy, V. (2020). Smart Home Technology Network Construction Method and Device Interaction Organization Concept. *2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing* (p. 1–6). Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dudnik, A., Kvasnikov V., Trush, O., & Domkiv, T. (2021). Development of Distributed Multi-Segment Wireless Networks for Determining External Situations. *In Information Technology and Interactions. CEUR Workshop Proceedings*, (2845), 127–137.
- Hofmann-Wellenho, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2013). *Global Positioning System: Theory and Practice* (14th ed.). Springer-Verlag, Berlin.
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R., & Estrin D. (2008). Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks. *In Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, Boston, MA, ACM Press (p. 56–67). University Chicago.
- Niculescu, D., & Nath, B. (2009). Ad hoc positioning system (aps) using aoa. *Proceedings of INFOCOM*, San Francisco, CA (p. 238).
- Priyantha, N., Balakrishnan, H., & Teller, S. (2016). The cricket compass for context aware mobile applications. *17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*. Rome, Italy (p. 325). Mobile Computing and Networking Forum.
- Savvides, A., Han, C., & Strivastava, M. (2010). Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. *7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy (p. 166–179). Mobile Computing and Networking Forum.
- Yu, Y., Govindan, R., & Estrin, D. (2011). Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. *Technical Report CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department*.

References

- Akyildiz, I. F. (2008). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks. IEEE Communications Magazine*, 250.
- Boukerche, A., & Oliveira H. (2017). Towards an integrated solution for node localization and data routing in sensor networks. *22th IEEE Symposium on Computers and Communications* (p. 449–454). Aveiro, Portugal. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Boukerche, A., Oliveira, H., & Nakamura, E., (2008). A novel location-free greedy forward algorithm for wireless sensor networks. *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications, Beijing, China* (p. 2096–2101). Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Brooks, R. R., & Iyengar, S. S. (2009). *Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Dudnik, A., Daria, P., Kobylychuk, M., Domkiv, T., Dahno, N., & Leshchenko, O. (2020). Intrusion and Fire Detection Method by Wireless Sensor Network. *2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, 211–215. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dudnik, A., Kuzmich, L., Trush, O., Domkiv, T., Leshchenko, O., & Vyshnivskiy, V. (2020). Smart Home Technology Network Construction Method and Device Interaction Organization Concept. *2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing*, 1–6. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dudnik, A., Kvasnikov V., Trush, O., & Domkiv, T. (2021). Development of Distributed Multi-Segment Wireless Networks for Determining External Situations. *In Information Technology and Interactions. CEUR Workshop Proceedings*, (2845), 127–137.
- Hofmann-Wellenho, B., Lichtenegger, H., Collins, J. (2013). *Global Positioning System: Theory and Practice* (14th ed.), Springer-Verlag, Berlin.
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R., & Estrin D. (2008). Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks. *In Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, Boston, MA, ACM Press, 56–67. University Chicago.
- Kucharuk, V. V., Kucheruk, V. Yu., Dolgoplov, V. P., & Gruminska, L. V. (2004). *Metrology and Measuring Devices*. Universum-Vinnitca, <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/2716/000137.pdf?sequence=1> [in Ukrainian].
- Kvasnikov, V. P., & Haiem, T. M. (2013). Concept of coordinate-measuring machines verification through the Internet. *Metrology and devices*, (6), 48–53 [in Ukrainian].
- Kvasnikov, V. P., Ornatsky, D. P., Nichikova, T. P., & Gavrilova, I. V. (2013). Methods of analog interface design for informational-measuring systems of mechanical values. *Measuring and computer hardware in technological processes*, (1), 164–169 [in Ukrainian].
- Niculescu, D., & Nath, B. (2009). Ad hoc positioning system (aps) using aoa. *Proceedings of INFOCOM*, San Francisco, CA. 238.
- Ornatsky, D. P., Mikhalko, M. V., & Osolovsky, O. I. (2014). Analog Interface for shift distant measurements using differential-transformer-based inductive sensors. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 1/2 (67), 52–57 [in Ukrainian].
- Priyantha, N., Balakrishnan, H., & Teller, S. (2016). The cricket compass for context aware mobile applications. *17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*. Rome, Italy, 325. Mobile Computing and Networking Forum.



Savvides, A., Han, C., & Strivastava, M. (2010). Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. *7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy, 166–179. Mobile Computing and Networking Forum.

Yu, Y., Govindan, R., & Estrin, D. (2011). *Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks*. Technical Report CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department.

Отримано редакцією журналу / Received: 07.03.23

Прорецензовано / Revised: 17.03.23

Схвалено до друку / Accepted: 24.03.23

Andriy DUDNIK¹, DSc (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1339-7820
e-mail: andrii.dudnik@knu.ua

Oleksandr TRUSH¹, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-4188-2850
e-mail: oleksandr.trush@knu.ua

Olga LESHCHENKO¹, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-3997-2785
e-mail: olga.leshchenko@knu.ua

Natalia DAKHNO¹, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-3892-4543
e-mail: nataliia.dakhno@knu.ua

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

THE METHOD OF DISTANCE MEASUREMENT IN WIRELESS SENSOR NETWORKS BY MEANS OF A MICROPROCESSOR FREQUENCY METER

B a c k g r o u n d . *Currently, there is a problem of limited resources of individual nodes of sensor networks, to solve many problems (including positioning), there is a need to develop methods for joint work of all nodes of the network. One of such tasks is the task of localization of nodes of the sensor network with self-organization. It consists in determining the coordinates of individual sensors without the use of external infrastructure. The problem of localization has been extensively studied in the past, as information on the location of objects or people is important in many applications, and a large number of systems have been developed to address them. The most famous of these is the Global Positioning System (GPS). However, the GPS approach cannot be applied to WSN due to its requirements for a large number of additional infrastructures (e.g. satellites).*

M e t h o d s . *In this paper methods of complex systems analysis and synthesis as well as computer simulation are used.*

R e s u l t s . *In this study, it is proposed to use the method of measuring the distance between objects, based on the time of arrival of the signal. The estimation of error of measurement of frequency, at measurement of high and low frequencies is given. It is determined that in the study of periodic processes in a wide range of frequencies to achieve a given accuracy, it is advisable to use a digital frequency meter in the high frequency range, and in the low frequency range to move to period measurement. Research has been conducted and graphs of quantization errors in frequency and period measurement have been constructed. An algorithm of microprocessor frequency meter operation is built, which allows studying periodic processes in a wide range. The block diagram of the microprocessor frequency meter is offered, which allows implementing the given algorithm.*

C o n c l u s i o n s . *Implementation of the designed microprocessor frequency meter allows one substantially increase efficiency of wireless sensor networks due to more precise measurements of the network elements positions.*

K e y w o r d s : *wireless sensor network, localization, distance, microprocessor frequency meter, distance measurement error.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



ІМІТАЦІЙНА КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ СИГНАЛІВ У КОАКСІАЛЬНОМУ КАБЕЛІ

Вступ. Досліджено процеси розповсюдження сигналів у коаксіальному кабелі як різновид довгих ліній. Вивчення таких процесів за допомогою аналітичних методів або з використанням натурного експерименту є доволі складним і недостатньо наочним. Метою роботи є розроблення імітаційної комп'ютерної моделі коаксіального кабелю у вигляді штучної довгої лінії та використання цієї моделі для дослідження процесів у лінії. Головну увагу приділено вивченню впливів неоднорідності в лінії та узгодженій передачі сигналу від джерела до навантаження з мінімальними втратами.

Методи. Використано методи імітаційного комп'ютерного моделювання й аналізу складних систем.

Результати. Для досягнення поставленої мети розв'язано завдання розроблення еквівалентної схеми коаксіального кабелю у вигляді штучної довгої лінії, яка містить джерело сигналу з певним внутрішнім опором, безпосередньо саму лінію з можливістю зміни її параметрів і навантаження; опису процесів у розробленій лінії за допомогою законів Ома та Кірхгофа у термінах диференціальних рівнянь безперервного часу; переходу від системи диференціальних рівнянь до рівнянь різниці з метою застосування їх в імітаційному комп'ютерному моделюванні; створення імітаційної комп'ютерної моделі на основі отриманої системи рівнянь різниці й випробування імітаційної комп'ютерної моделі у сценарії розповсюдження сигналів у довгій лінії з неоднорідністю. Отримані в роботі результати імітаційного комп'ютерного моделювання повністю узгоджуються з теоретичними уявленнями про процеси в довгих лініях у різних режимах їхнього функціонування. Ці результати дозволили кількісно та якісно, а головне наочно, оцінити вплив неоднорідності в лінії на оптимальну передачу в ній сигналів.

Висновки. Розроблену імітаційну комп'ютерну модель коаксіального кабелю у вигляді штучної довгої лінії можна використовувати в навчальному процесі у закладах вищої освіти відповідного профілю та для розроблення і вдосконалення цих пристроїв.

Ключові слова: імітаційна комп'ютерна модель, коаксіальний кабель, штучна довга лінія, неоднорідності в лінії, узгоджена передача сигналу.

Вступ

Швидке поширення телекомунікаційних та інформаційних технологій у всьому світі та в Україні свідчить про те, що лінії передачі продовжують відігравати важливу роль у цих технологічних застосуваннях (Frenzel, 2016; Siebert, 1986). Характеристики цих ліній мають відповідати тим, яких вимагає від них сучасне телекомунікаційне обладнання, щоб забезпечувати високоякісні комунікаційні зв'язки. До цих застосувань передачі даних належать такі: пересилання сигналу від передавача до антени та від антени до приймача, комп'ютерної інформації у локальній мережі, телефонних повідомлень, телевізійних сигналів у системах кабельного телебачення тощо (Frenzel, 2016).

Для забезпечення пересилання сигналів високої якості, лінія передачі має задовольняти дві основні вимоги. По-перше, вона повинна вносити мінімальне послаблення сигналів, і, по-друге, запобігати будь-якому випромінюванню сигналу у вигляді енергії на радіочастоті (Frenzel, 2016).

Серед основних ліній передачі, що використовуються в сучасних телекомунікаціях, найчастіше застосовують кручені пари, коаксіальні кабелі й оптичні лінії.

Математичні (аналітичні) обчислення для розроблення й вивчення ліній передачі є достатньо складними і незручними з огляду на багато причин (Frenzel, 2016; Siebert, 1986; Kluever, 2015). По-перше, відповідні іміданси є комплексними й існує багато факторів, які потрібно враховувати. Як результат, обчислення з такими комплексними числами є довгими та вимагають багато витрат часу. До того ж, великий об'єм обчислень може призводити до появи помилок. По-друге, в коаксіальних лініях передачі існує багато процесів, які в принципі не можливо відтворити аналітичним методом. До таких процесів належать ті, що пов'язані з розповсюдженням сигналів уздовж лінії. Іншим підходом до дослідження розповсюдження сигналів у довгих лініях є проведення натурного експерименту. Але і в цьому випадку постають суттєві проблеми: серед них – великі витрати ресурсів та відсутність гнучкості (Frenzel, 2016; Siebert, 1986; Kluever, 2015).

Зважаючи на зазначене, в роботі пропонується використовувати імітаційне комп'ютерне моделювання для вивчення процесів розповсюдження сигналів у довгих лініях на основі коаксіальних кабелів, яке, як показують результати дослідження, має безсумнівні переваги над зазначеними вище підходами.

Постановка задачі. Як уже вказано, коаксіальний кабель є тією лінією передачі, яку найчастіше використовують у телекомунікаційних застосуваннях. Він зазвичай складається з мідного твердого центрального провідника, оточеного діелектричним матеріалом. Таким матеріалом зазвичай є пластик або тефлон, як видно з рис. 1 (Frenzel, 2016).

Поверх ізолятора розміщено другий провідник або облєтнення, по-іншому відомий як екран, що складається з переплетених тонких мідних дротів. Наявна зовнішня пластикова оболонка, що захищає механічно, а також електрично ізолює облєтнення. Такі коаксіальні кабелі можуть мати різні розміри залежно від їхнього призначення та конструкції.

Одним із шляхів дослідження розповсюдження сигналів у коаксіальному кабелі є проведення натурного експерименту, але цей підхід занадто дорогий і недостатньо гнучкий, ще й потребує певного часу.

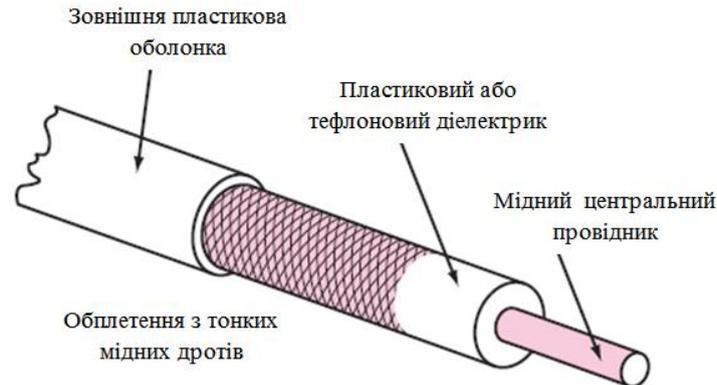


Рис. 1. Типова конструкція коаксіального кабелю

Іншим шляхом вивчення процесів передачі сигналів у коаксіальному кабелі є аналітичний підхід. У цьому методі зазвичай розглядають електромагнітні властивості кабелю. Коли протяжність кабелю є більшою за кілька довжин хвиль на частоті сигналу, центральний мідний провідник та обплетення, як два паралельні провідники, створюють комплексний імпеданс. Ці провідники являють собою послідовно включену індуктивність (L), вплив якої суттєвий особливо на високих частотах. Послідовно із цією індуктивністю існує опір центрального провідника та обплетення (R), які характеризуються внутрішнім омичним опором і тим, що утворюється за рахунок поверхневого ефекту. До того ж, паралельно підключені центральний провідник та обплетення утворюють розподілену ємність (C), в якій як діелектрик виступає пластик або тефлон між провідниками. Додатково наявний опір витoku або провідність (G) поперек кабелю, як результат недосконалостей ізоляції між провідниками. В результаті, для високочастотних сигналів, лінія передачі постає як фільтр низьких частот, що складається з послідовних індуктивностей і резисторів, а також паралельних, або тих, що шунтують, резисторів і конденсаторів. Таке представлення коаксіального кабелю відоме як еквівалентна схема розподіленої лінії із зосередженими параметрами (рис. 2) (Frenzel, 2016).

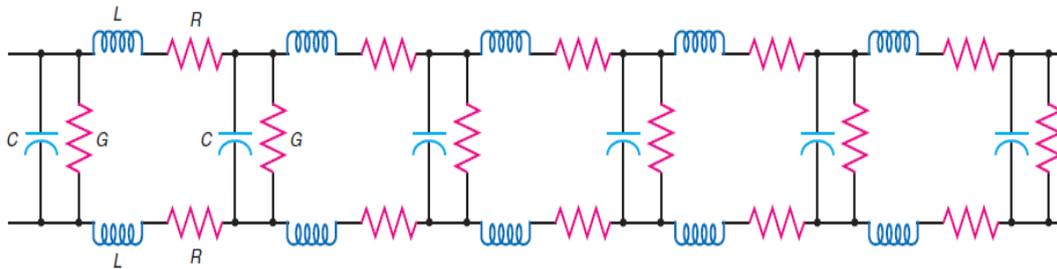


Рис. 2. Еквівалентна схема коаксіального кабелю із зосередженими параметрами

За використання добре відомого аналітичного підходу для лінії, зображеної на рис. 2, існує рішення у вигляді телеграфних рівнянь. Проблема з телеграфними рівняннями полягає в тому, що, хоча вони добре працюють для однорідної лінії, проте не доволі зручні для вивчення впливів різних типів неоднорідності на процеси розповсюдження сигналів.

Отже, постає задача пошуку простого, ефективного та наочного методу дослідження процесів розповсюдження сигналів у довгій лінії з неоднорідністю.

Методи

З огляду на зазначене, в роботі для розв'язання вказаної задачі запропоновано використовувати метод імітаційного комп'ютерного моделювання. Як допоміжний, використовується метод аналізу складних систем та отримання їх спрощеного представлення.

Початковою точкою розроблення моделі є схема, зображена на рис. 2. Враховуючи всі можливі параметри коаксіального кабелю, її можливо спростити. Індуктивності L , активні опори R та ємності C доцільно об'єднати в більшій еквівалентні елементи. Паралельні резистори витoku ($1/G$) мають достатньо великий опір і тому їхній вплив вважається несуттєвим і може бути проігнорованим. В результаті ми отримуємо спрощену схему (рис. 3).

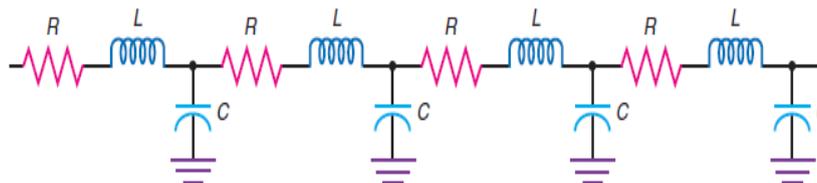


Рис. 3. Спрощена еквівалентна схема коаксіального кабелю із зосередженими параметрами

Потрібно зробити кілька зауважень щодо послідовного опору провідників R . На коротких ділянках, цим опором можна знехтувати тому, що він є дуже малий. На великих відстанях, однак, цей опір може призводити до значного послаблення сигналу.

Головний вплив на процеси в коаксіальному кабелі мають індуктивність L та ємність C (рис. 2 та 3), і на практиці саме вони визначають його характеристики.

Якщо підключити еквівалентну схему з рис. 3 до джерела сигналу U_S , то це джерело сигналу буде навантажено на імпеданс, що є функцією індуктивності, активного опору та ємності в ланцюзі. Цей імпеданс відомий як хвильовий або характеристичний. Коли припустити, що тривалість лінії є нескінченною, цей імпеданс є активним. Вказаний характеристичний опір буде також суто активним, якщо лінія кінцевої тривалості є навантаженою на резистор, що дорівнює характеристичному опору лінії.

Окреслений вище характеристичний опір Z_0 визначають за формулою

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

де Z_0 обчислюють в омах, L – індуктивність коаксіальної лінії передачі для заданої довжини лінії, C – ємність лінії для тієї самої довжини.

Для звичайного під'єднання коаксіального кабелю, у майже всіх застосуваннях, внутрішній опір джерела живлення R_S , характеристичний опір кабелю Z_0 та опір навантаження однакові, тобто $R_S = R_L = Z_0$. Як відомо, в цьому випадку задовольняється критерій для передачі максимальної потужності від джерела до навантаження через коаксіальний кабель.

З огляду на зазначене вище застосовують для моделювання процесів розповсюдження сигналів у коаксіальному кабелі еквівалентну схему, зображену на рис. 4.

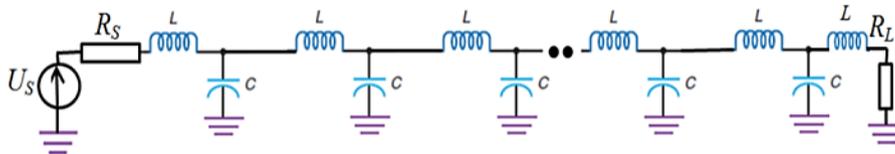


Рис. 4. Еквівалентна схема коаксіального кабелю у вигляді штучної довгої лінії

На рис. 4 коаксіальний кабель представлено у вигляді штучної довгої лінії. Нагадаємо, що на зазначеній схемі U_S позначає джерело сигналу, R_S – внутрішній опір джерела сигналу та R_L – опір джерела навантаження.

Для дослідження процесів у еквівалентній схемі (рис. 4) використовують її імітаційну комп'ютерну модель. Першим кроком на шляху її створення є опис схеми в термінах диференціальних рівнянь безперервного часу.

Попередній аналіз еквівалентної схеми коаксіального кабелю дозволяє дійти таких висновків:

- усі наявні контури у схемі є однотипними за виключенням першого й останнього, що значно спрощує її опис;
- наявні тільки три типові елементи електричних ланцюгів: R , L , та C .

Розглянемо спочатку співвідношення між струмами й напругами для зазначених вище елементів R , L , та C . З літературних джерел відомо (Siebert, 1986), що вони такі:

$$v(t) = R_i(t), \tag{1}$$

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \text{ або } v(t) - v(0) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau, \tag{2}$$

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \text{ або } i(t) - i(0) = \frac{1}{L} \int_0^t v(\tau) d\tau. \tag{3}$$

Рівняння (1) висвітлює зв'язок між струмом і напругою для активного резистора, співвідношення (2) демонструє зазначений зв'язок для ємності, а співвідношення (3) – для індуктивності.

Математичну модель для опису процесів у таких ланцюгах можна отримати за допомогою процедури, наведеної в роботі (Kluever, 2015):

По-перше, потрібно записати відповідні звичайні диференціальні рівняння першого порядку для кожного з елементів що запасують енергію (ємність та індуктивність). Динамічними змінними для цих диференціальних рівнянь будуть або напруга $v_C(t)$ (для ємності) або струм $i_L(t)$ (для індуктивності).

По-друге, необхідно використати закони Кірхгофа, щоб обчислити невідомі напруги та струми через динамічні змінні, пов'язані з елементами зберігання енергії ($v_C(t)$ або $i_L(t)$) та джерела струму і напруги (за наявності).

Розглянемо процес формування математичної моделі для першого (лівого) контуру принципової схеми на рис. 4.

Застосування закону Кірхгофа для напруги для першого контуру приводить до такого рівняння:

$$U_S(t) = v_{R_S}(t) + v_L(t) + v_C(t). \tag{4}$$

Використання закону Кірхгофа для струму для точки з'єднання першої та другої індуктивностей, а також першої ємності, дозволяє отримати формулу

$$i_L(t) = i_{L_2}(t) + i_{C_1}(t). \tag{5}$$



Перейдемо до опису сигналів у контурах з 2-го по $(N - 1)$, де N – загальна кількість контурів. Застосування закону Кірхгофа для напруги для цих контурів приводить до рівняння

$$v_{C_{i-1}}(t) = v_{L_i}(t) + v_{C_i}(t), \quad (6)$$

де i позначає номер контуру.

Використання аналогічним чином закону Кірхгофа для струмів для контурів з 2-го по $N - 1$ дозволяє отримати формулу

$$i_{L_i}(t) = i_{L_{i+1}}(t) + i_{C_i}(t). \quad (7)$$

Перейдемо до останнього контуру. Отримані подібним чином аналогічні вирази для напруг і струмів матимуть вигляд

$$v_{C_{N-1}}(t) = v_{L_N}(t) + v_{R_L}(t), \quad (8)$$

$$i_{L_N}(t) = i_{R_L}(t). \quad (9)$$

Наступним кроком підставимо в рівняння (4), (5), (6), (7), (8) та (9) замість струмів на конденсаторах, та напруг на індуктивностях, вирази з (2) та (3), що пов'язують ці параметри відповідно з напругами та струмами на цих елементах. Додатково, похідні від відповідних струмів і напруг перенесемо в ліву частину відповідного рівняння, а всі інші складові – у праву.

В результаті цих процедур отримуємо рівняння для першого контуру:

$$L_1 \frac{di_{L_1}(t)}{dt} = U_S(t) - R_S i_{L_1}(t) - v_{C_1}(t), \quad (10)$$

$$C_1 \frac{dv_{C_1}(t)}{dt} = i_{L_1}(t) - i_{L_2}(t); \quad (11)$$

для контурів від другого до передостаннього:

$$L_i \frac{di_{L_i}(t)}{dt} = v_{C_{i-1}}(t) - v_{C_i}(t), \quad (12)$$

$$C_i \frac{dv_{C_i}(t)}{dt} = i_{L_i}(t) - i_{L_{i+1}}(t); \quad (13)$$

для останнього:

$$L_N \frac{di_{L_N}(t)}{dt} = v_{C_{N-1}}(t) - R_L i_{L_N}(t), \quad (14)$$

$$v_{R_L}(t) = R_L i_{L_N}(t). \quad (15)$$

В рівняннях (10) та (15) враховано закон Ома для активного резистора. Загалом, рівняння (10), (11), (12), (13), (14) та (15) є математичною моделлю у вигляді диференціальних рівнянь безперервного часу, що описує процеси в еквівалентній схемі коаксіального кабелю у вигляді штучної довгої лінії, яка зображена на рис. 4.

Для використання у вигляді імітаційної комп'ютерної моделі розроблену вище модель потрібно перетворити із системи диференціальних рівнянь на систему рівнянь різниці, тобто перейти до дискретного часу. Одним із можливих варіантів такого переходу є застосування формули Ейлера (Siebert, 1986), що передбачає заміну кожної похідної її приблизним значенням відповідно до формули

$$\frac{dx(t)}{dt} \approx \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}. \quad (16)$$

З урахуванням (16) рівняння (10), (11), (12), (13), (14) та (15) можна представити як

$$i_{L_1}(n+1) = i_{L_1}(n) + \frac{\Delta t}{L_1} (U_S(n) - R_S i_{L_1}(n) - v_{C_1}(n)), \quad (17)$$

$$v_{C_1}(n+1) = v_{C_1}(n) + \frac{\Delta t}{C_1} (i_{L_1}(n) - i_{L_2}(n)), \quad (18)$$

$$i_{L_i}(n+1) = i_{L_i}(n) + \frac{\Delta t}{L_i} (v_{C_{i-1}}(n) - v_{C_i}(n)), \quad (19)$$

$$v_{C_i}(n+1) = v_{C_i}(n) + \frac{\Delta t}{C_i} (i_{L_i}(n) - i_{L_{i+1}}(n)), \quad (20)$$

$$i_{L_N}(n+1) = i_{L_N}(n) + \frac{\Delta t}{L_N} (v_{C_{N-1}}(n) - R_L i_{L_N}(n)), \quad (21)$$

$$v_{R_L}(n) = R_L i_{L_N}(n). \quad (22)$$

В рівняннях (17)–(22) n позначає номер ітерації, а Δt – дискретний крок налаштування. Загалом ці вирази являють собою систему рівнянь різниці, яка описує процеси в розробленій еквівалентній схемі коаксіального кабелю. Вони і можуть бути використані для створення імітаційної комп'ютерної моделі згідно з метою роботи.



Отримані рівняння (17)–(22) є дуже зручними для побудови імітаційної комп'ютерної моделі штучної довгої лінії. По-перше, вони являють собою рекурентні формули, які просто реалізуються у вигляді циклічних операцій на будь-якій мові програмування. По-друге, за винятком першого й останнього контурів, виконуються типові операції над різними даними. Це дозволяє організувати цикл обчислень по елементах лінії. Як результат зазначеного, рівняння (17)–(22) можуть бути достатньо просто реалізовані шляхом використання вкладених циклів за кількістю ітерацій і кількістю елементів лінії для будь-яких їхніх значень. Величини всіх напруг і струмів у штучній довгій лінії можна представити у вигляді двовимірних масивів, що спрощує їхній опис і дозволяє виокремлювати для аналізу будь-які з них залежно як від ітерацій, так і від номерів елементів. Наявність цих даних дозволяє отримувати в динаміці картину розповсюдження сигналу в лінії.

У розробці моделі враховано можливість варіювати формою та амплітудою сигналу джерела U_S на рис. 4, значенням внутрішнього опору цього джерела R_S , значенням опору навантаження R_L . Це створює широкий спектр варіантів для випробування створеної моделі в різних ситуаціях і по входу, і по виходу лінії.

Значення ємностей та індуктивностей штучної довгої лінії на рис. 4 також можна представити у вигляді одновимірних масивів або векторів. Це дозволить легко й оперативно змінювати їхні значення та вносити різні неоднорідності в лінію з метою дослідження їхнього впливу.

Як середовище програмування в роботі вибрано середовище Matlab, зважаючи на його наочні переваги для технічних обчислень (Gordon, & Guilfoos, 2017; Priemer, 2013).

Розроблена в роботі імітаційна комп'ютерна модель завдяки своїй універсальності може використовуватися для досліджень процесів у штучній довгій лінії у різних режимах роботи. Штучну лінію в ній можна навантажити на нульовий опір або залишити розімкнутою, зробити однорідною або з неоднорідністю тощо.

Результати

З огляду на поставлену мету, в роботі пропонується дослідити процеси у штучній довгій лінії для наведеного нижче сценарію функціонування еквівалентної схеми з рис. 4. Кількість елементів у лінії дорівнює 100. Джерело сигналу формує прямокутний імпульс амплітудою -20 В і має внутрішній опір $R_S = 50$ Ом. Перші 70 елементів лінії мають характеристичний опір 50 Ом, водночас інші 30 елементів – 75 Ом. Такий тип неоднорідності може виникнути, якщо коаксіальний кабель із хвильовим опором 50 Ом нарощують випадково коаксіальним кабелем із хвильовим опором 75 Ом. Загалом штучна довга лінія навантажена на активний опір $R_L = 75$ Ом. Отже лінія є узгодженою по входу та виходу, але має неоднорідність на 71-му елементі.

Для забезпечення вказаних параметрів лінії, значення індуктивності для перших 70 елементів $L = 0,1$ мкГн, а ємність розраховується з урахуванням забезпечення потрібного характеристичного опору 50 Ом. Для елементів лінії з 71 до 100 значення індуктивності збільшується в 9 разів, а ємності – у 4 рази, що веде до отримання характеристичного опору для цих елементів 75 Ом.

Випробування імітаційної комп'ютерної моделі для штучної довгої лінії (рис. 4) дозволило отримати результати, наведені далі.

На рис. 5 зображено напругу джерела сигналу, що розповсюджується в лінії на перших 70 елементах.

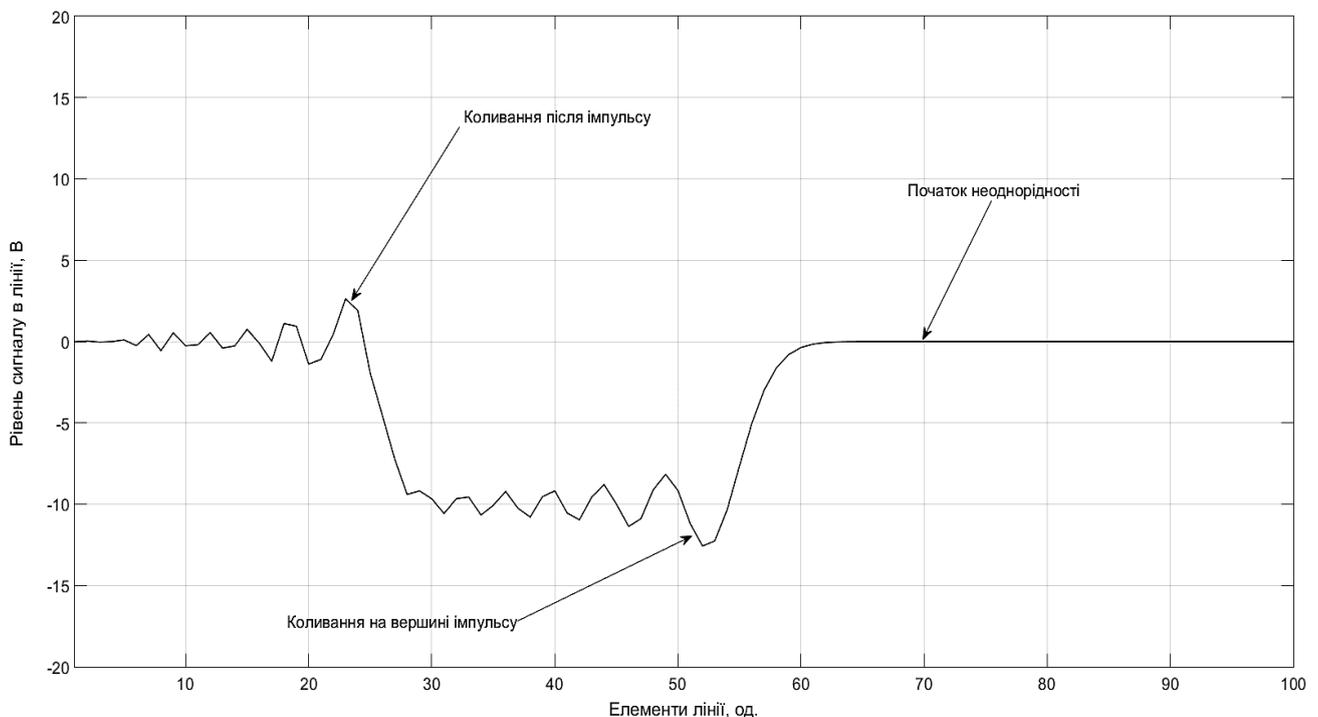


Рис. 5. Крива сигналу в лінії на перших 70 елементах



З рис. 5 бачимо, що середній рівень напруги в лінії становить 10 В. Це відповідає теоретичним уявленням про функціонування лінії, оскільки при узгодженні джерела з лінією напруга джерела, яка становить -20 В, розподіляється порівну між внутрішнім опором джерела та характеристичним опором лінії. На вершині імпульсу та після нього спостерігаються осциляції, що затухають; це теж є типовим під час розповсюдження імпульсу сигналу у штучній довгій лінії (а також у коаксіальному кабелі).

Рис. 6 ілюструє криву сигналу в лінії при стиканні імпульсу з неоднорідністю, яка починається з 71 елемента, а рис. 7 показує трансформацію імпульсу у процесі його проходження через фронт неоднорідності.

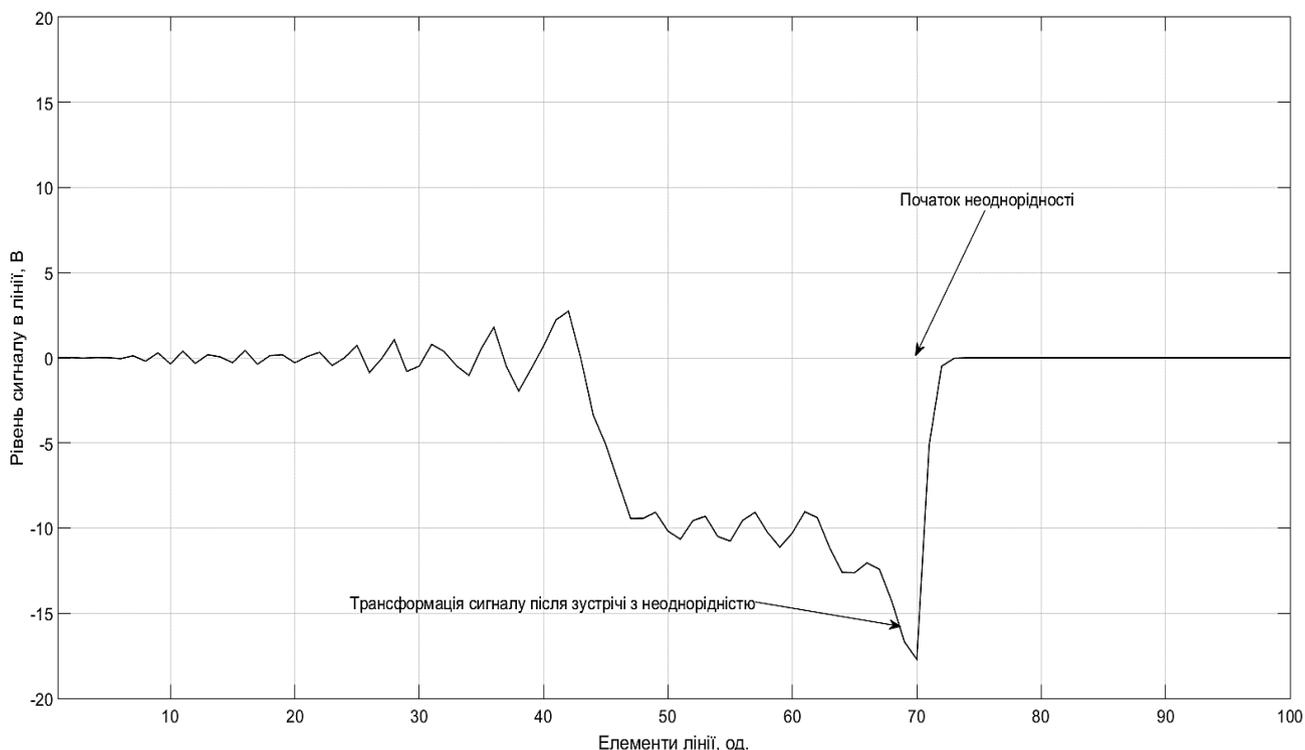


Рис. 6. Крива сигналу в лінії при стиканні з неоднорідністю

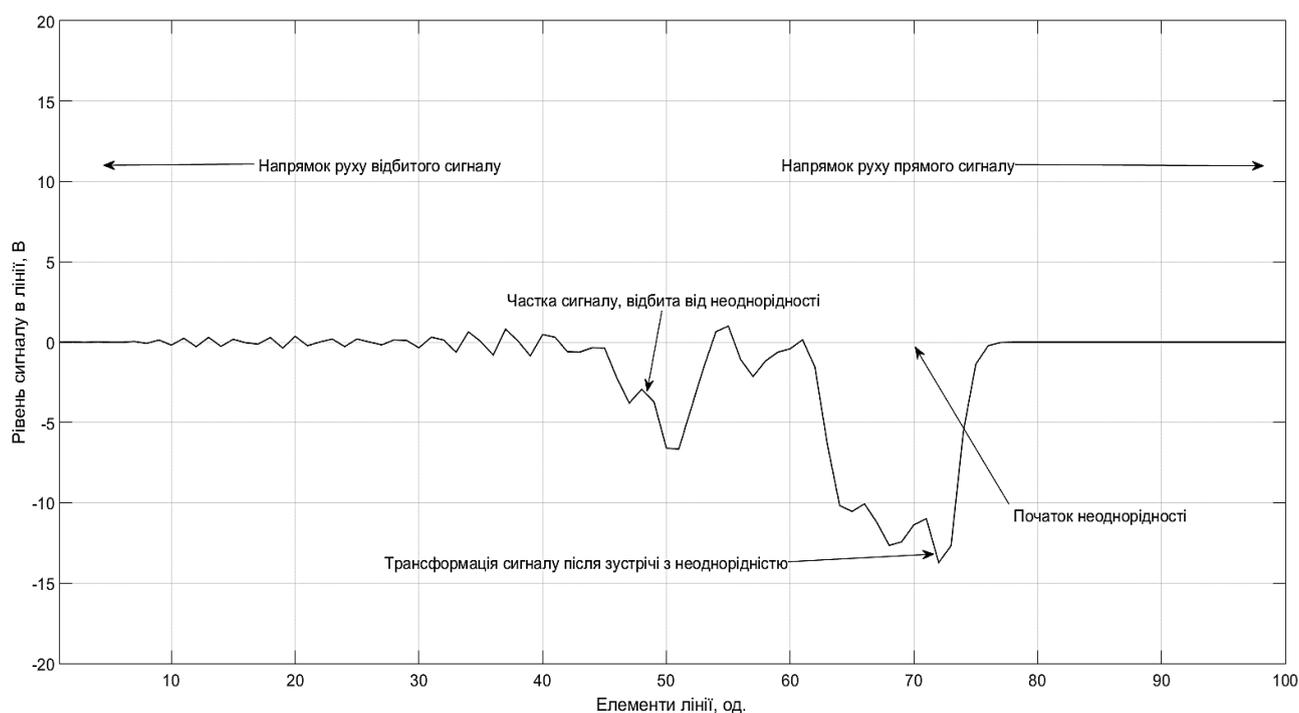


Рис. 7. Крива сигналу в лінії при проходженні через неоднорідність



Рис. 8 та 9 показують форму імпульсу відразу після проходження через неоднорідність і через певний час після цього.

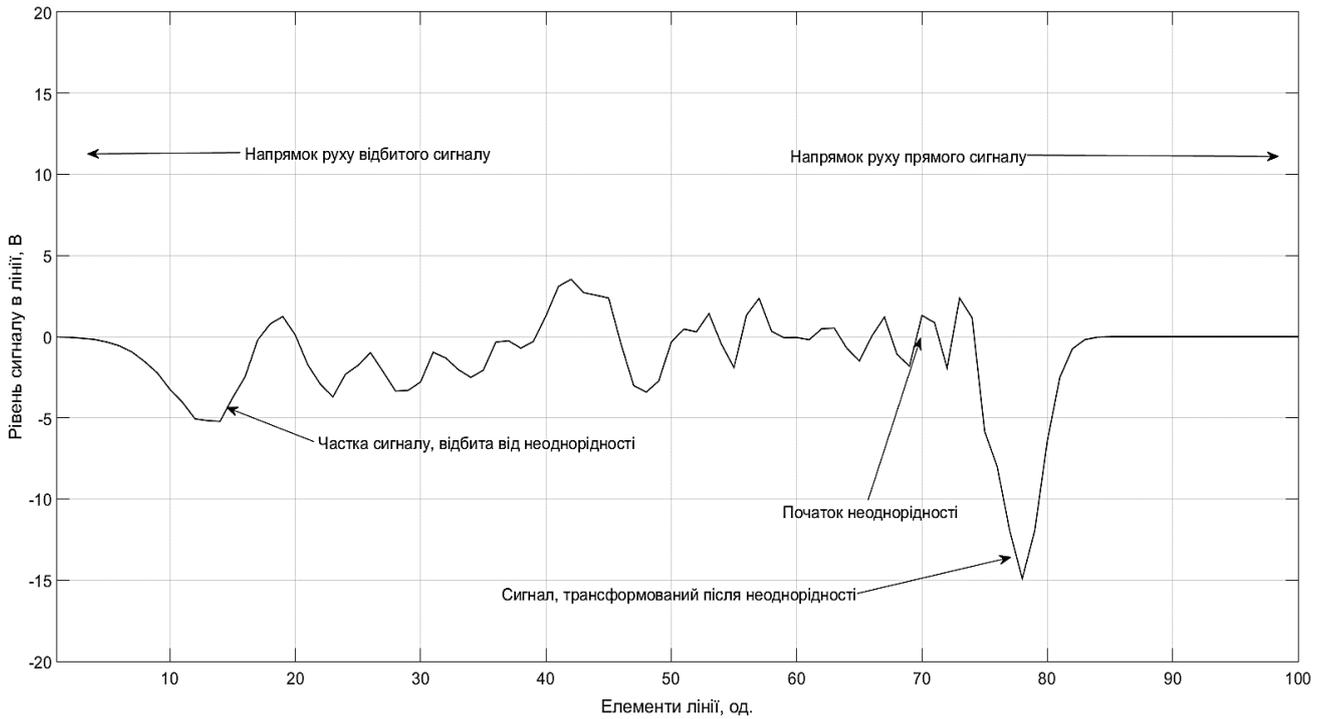


Рис. 8. Крива сигналу в лінії відразу після проходження через неоднорідність

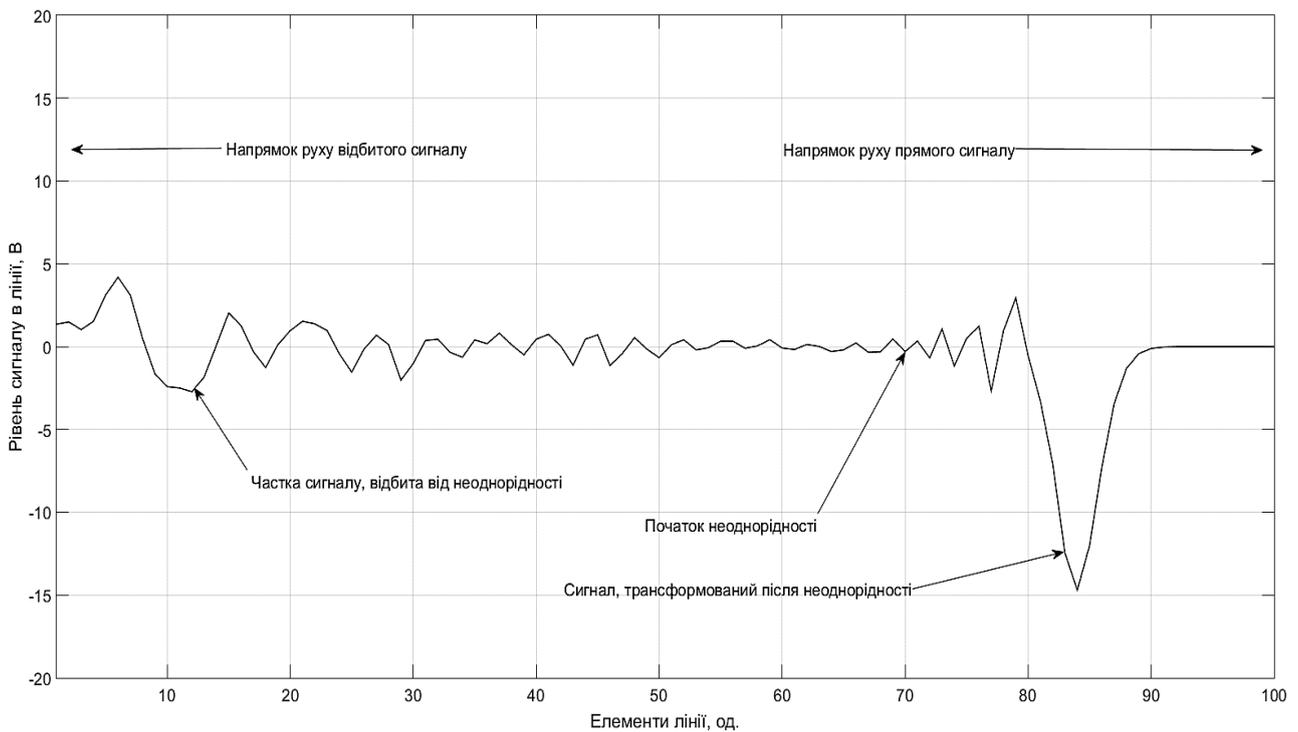


Рис. 9. Крива сигналу в лінії через певний час після проходження через неоднорідність

Як випливає з рис. 6 та 7, у разі стикання з неоднорідністю та при проходженні через неї відбувається трансформація форми імпульсу, а частка енергії імпульсу відбивається у зворотному напрямку до джерела сигналу.

Водночас, з кривих на рис. 8 та 9 випливає, що трансформований імпульс зберігає свою форму, а частка відбитої енергії імпульсу поглинається активним опором джерела.



Рис. 10 показує криву розповсюдження сигналу перед його падінням на навантаження, а рис. 11 – криву сигналу в часі на навантаженні лінії.

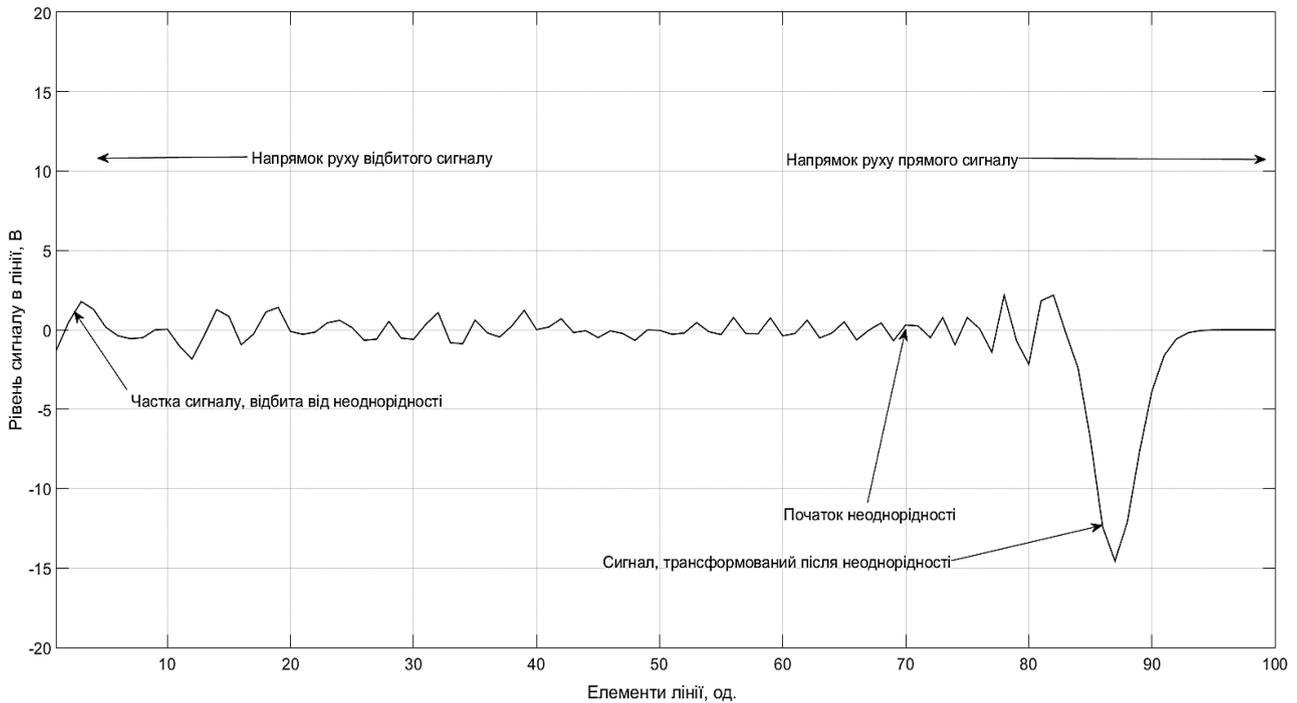


Рис. 10. Крива сигналу в лінії при його надходженні на навантаження

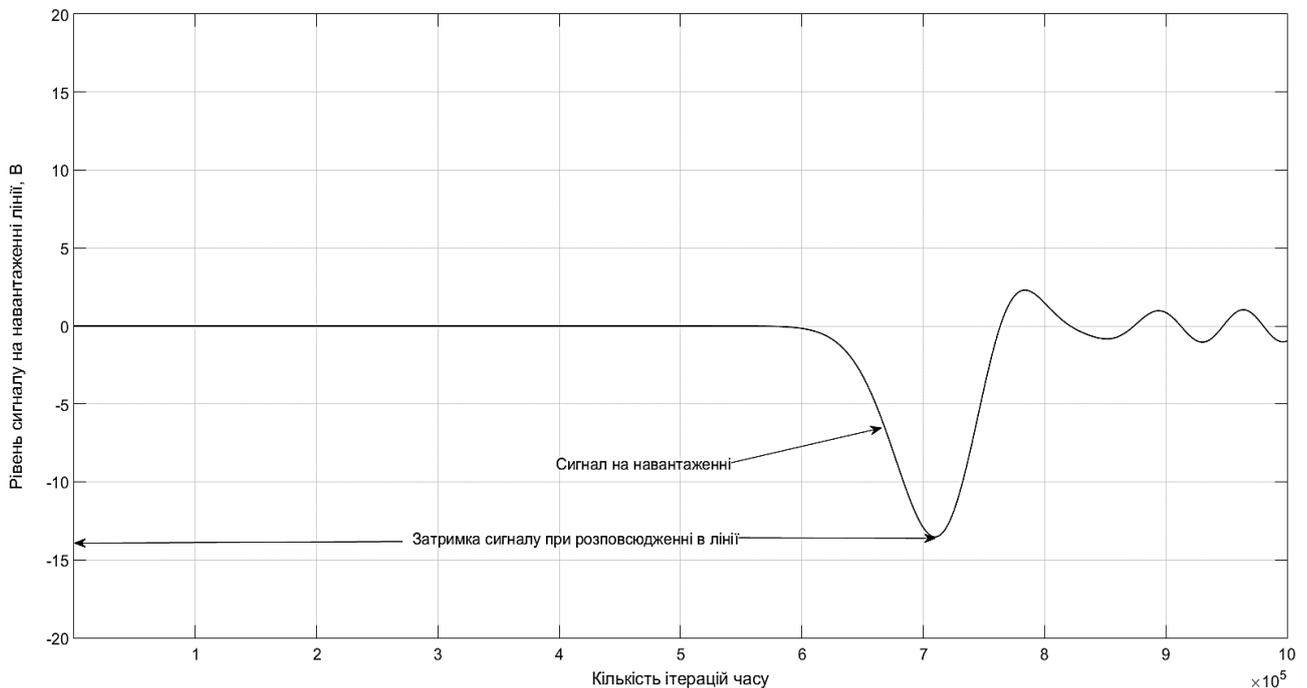


Рис. 11. Крива сигналу на навантаженні лінії

З аналізу кривих, представлених на рис. 5–11, доходимо таких висновків:

- В однорідній лінії у процесі розповсюдження сигналу його форма не змінюється, як впливає з рис. 5, 8 та 9:
 - у разі проходження через неоднорідність, якою в цьому випадку є зміна характеристичного опору лінії з 50 Ом на 75 Ом, частина енергії сигналу відбивається від неї та поширюється у зворотному напрямку до джерела сигналу, як показано на рис. 7–10;
 - у процесі проходження сигналу через неоднорідність змінюється форма імпульсу так, що за переходу з менших погонних значень ємності й індуктивності (на одиницю довжини) до більших, його тривалість стає коротшою у кількість разів, що дорівнює кореню квадратному з добутку зростають погонних значень цих елементів;



▪ за переходу від ділянки лінії з меншим характеристичним опором до ділянки з більшим характеристичним опором амплітуда імпульсу зростає відповідно до співвідношення цих імпедансів з урахуванням втрат на неоднорідності.

Зазначені процеси розповсюдження сигналу імітаційна комп'ютерна модель показує в динаміці, що неможливо відобразити на папері або отримати аналітично. Усі отримані криві та висновки з них не суперечать фізичним уявленням про процеси відомі з теорії довгих ліній. Визначальною характеристикою запропонованої імітаційної моделі є те, що вона дозволяє у подробицях та наочно вивчити вплив неоднорідності в лінії.

Висновки

В роботі запропоновано підхід до вивчення процесів розповсюдження сигналів в коаксіальному кабелі. Цей підхід базується на побудові імітаційної комп'ютерної моделі коаксіального кабелю як штучної довгої лінії. Процес розроблення цієї імітаційної моделі складається з чотирьох послідовних етапів. На першому етапі створюється еквівалентна схема коаксіального кабелю у вигляді штучної довгої лінії. На другому здійснюється опис процесів у розробленій еквівалентній схемі за допомогою законів Ома та Кірхгофа у термінах диференціальних рівнянь безперервного часу. Наступний етап присвячено переходу від безперервного часу до дискретного й отриманню системи рівнянь різниці. На останньому етапі одержана система рівнянь різниці перетворюється на імітаційну комп'ютерну модель у середовищі Matlab.

Проведено дослідження процесів за допомогою розробленої імітаційної моделі в коаксіальному кабелі для певного сценарію передачі сигналів. Аналіз результатів дослідження доводить валідність імітаційної моделі та її відповідність теоретичним положенням теорії довгих ліній. Виграшним моментом розробленої моделі є те, що вона з високою точністю та наочною відображає динамічні процеси, які відбуваються у штучній довгій лінії.

На думку авторів, зазначену модель можна ефективно використовувати для розроблення й удосконалення довгих ліній передачі та в навчальному процесі у закладах вищої освіти за напрямом "Телекомунікації та радіотехніка".

Внесок авторів: Олександр Плющ – розроблення методів і методології дослідження, опис результатів і написання висновків; Андрій Большаков – огляд літературних джерел, збір емпіричних даних і проведення емпіричних досліджень.

Список використаних джерел

- Frenzel, Jr. (2016). *Principles of electronic communication systems* (4th ed.). McGraw-Hill Education. New York.
Gordon, S., I. & Guilfoos, B. (2017). *Introduction to Modeling and Simulation with MATLAB and Python*. CRC Press Taylor & Francis Group.
Kluever, C., A. (2015). *Dynamic systems: Modeling, Simulation and Control*. John Wiley and Sons, MA.
Priemer, R. (2013). *MATLAB for Electrical and Computer Engineering Students and Professionals with Simulink*. SciTech Publishing, NJ.
Siebert, W. McS. (1986). *Circuits, Signals, and Systems*. Cambridge. McGraw-Hill Book Company, MA. doi.org/10.7551/mitpress/1839.001.0001.

References

- Frenzel, Jr. (2016). *Principles of electronic communication systems* (4th ed.). McGraw-Hill Education. New York.
Gordon, S., I. & Guilfoos, B. (2017). *Introduction to Modeling and Simulation with MATLAB and Python*. CRC Press Taylor & Francis Group.
Kluever, C., A. (2015). *Dynamic systems: Modeling, Simulation and Control*. John Wiley and Sons, MA.
Priemer, R. (2013). *MATLAB for Electrical and Computer Engineering Students and Professionals with Simulink*. SciTech Publishing, NJ.
Siebert, W. McS. (1986). *Circuits, Signals, and Systems*. Cambridge. McGraw-Hill Book Company, MA. doi.org/10.7551/mitpress/1839.001.0001.

Отримано редакцією журналу / Received: 05.11.22
Прорецензовано / Revised: 15.11.22
Схвалено до друку / Accepted: 20.11.22

Oleksandr PLIUSHCH, DSc (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-5310-0660
e-mail: oleksandr.pliushch@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Andrii BOLSHAKOV, Student
ORCID ID: 0000-0002-4613-8545
e-mail: andrii.bolshakov@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

COMPUTER SIMULATION MODEL OF SIGNAL PROPAGATION PROCESSES IN COAXIAL CABLE

Background. *The paper studies processes of signal propagation in a coaxial cable as a type of artificial long lines. Utilization of analytical methods as well as natural experiments for analyzing these processes is rather difficult and not sufficiently descriptive. The aim of the paper is to develop a simulation computer model of coaxial cable represented as an artificial long line and to use this model for studying processes in it. Main attention is paid to clarify impact of irregularities in the line and matched signal transmission from the source to the load with minimal losses.*

Methods. *Methods of computer simulation as well as complex systems analysis are used.*

Results. *To achieve the set goal, the paper solves the tasks of a coaxial cable equivalent circuit design as an artificial long line, which includes signal source with a certain internal impedance, the line itself with a possibility to vary its parameters and the load; representation of the processes in the developed line with the help of Ohm's and Kirchhoff's laws in terms of differential equations of continuous time; transition from the system of differential equations to the one of difference in order to use them for computer simulation; design of a computer simulation model on the base of the obtained system of difference equations; and trial of the computer simulation model in the scenario of signal propagation in the long line with irregularities. Computer simulation results that are obtained in the paper completely correspond to the theoretical notions related to the processes in long lines in different modes of their operation. The results have allowed one to assess numerically and qualitatively, and most importantly descriptively, impact of irregularities in the line on the optimal signal transmission in it.*

Conclusions. *Developed computer simulation model of a coaxial cable as an artificial long line can be used for tuition processes at universities and for design and modernization of these devices.*

Keywords: *simulation computer model, coaxial cable, artificial long line, line irregularities, matched signal transmission.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



Олександр ПЛЮЩ, д-р техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0001-5310-0660
e-mail: oleksandr.pliushch@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Юрій КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-0281-4396
e-mail: yurii.kravchenko@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Олександр ТРУШ, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-4188-2850
e-mail: oleksandr.trush@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

РЕКУРЕНТНИЙ АЛГОРИТМ ПРОЄКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ

Вступ. Для проєктування й розрахунку телекомунікаційних систем і мереж широко використовують першу формулу Ерланга, яка встановлює зв'язок вірогідності відмови в обслуговуванні з інтенсивністю навантаження в певному напрямку зв'язку і наявною кількістю каналів у цьому напрямку. У багатьох застосуваннях виникає задача знаходження потрібної кількості каналів у певному напрямку зв'язку для певної інтенсивності навантаження для задоволення заданої вірогідності відмови.

Методи. Використано методи імітаційного комп'ютерного моделювання й аналізу складних систем.

Результати. Зважаючи на те, що кількість каналів входить у першу формулу Ерланга, по-перше, як верхній індекс додавання, по-друге, показник експоненти, по-третє, під знаком факторіала, розв'язання поставленої задачі є можливим графічним методом. Цей метод полягає в отриманні значень вірогідності відмови для певного діапазону кількості каналів для знаходження найменшої кількості каналів, за якої вірогідність відмови знижується нижче певного рівня. В роботі показано, що для великих значень кількості каналів й інтенсивності навантаження пряме використання першої формули Ерланга на ЕОМ приводить до швидкого переповнення розрядної сітки і до неможливості виконувати потрібні обчислення. Для подолання проблеми запропоновано рекурентний алгоритм розв'язання поставленої задачі, який отримується з першої формули Ерланга і завдяки своїй структурі не має вказаних обмежень у разі використання на ЕОМ.

Висновки. Результати досліджень запропонованого алгоритму демонструють його високу ефективність у програмуванні в середовищі Matlab. Зважають, що алгоритм може знайти широке застосування для проєктування телекомунікаційних мереж і систем.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, перша формула Ерланга, рекурентний алгоритм, Matlab.

Вступ

Удосконалення технологій передачі й оброблення інформації в телекомунікаційних системах і мережах визначає рівень розвитку останніх. Невід'ємною частиною цієї тенденції є процес розвитку методів аналізу і проєктування телекомунікаційних мереж (Степков, & Беркман, 2002; Гольдштейт, Соколов, & Яновський, 2010; Алієв, 2011). Мережі зв'язку постають як один із найважливіших елементів сучасного життя, і від їхнього функціонування залежать практично всі процеси й відносини в суспільстві. З огляду на це до стану мереж телекомунікацій і їхнього рівня розвитку висувують особливі вимоги.

У проєктуванні та розрахунку телекомунікаційних мереж широко використовують першу формулу Ерланга (В-формула Ерланга), яка встановлює для певного напрямку зв'язку відношення між вірогідністю відмови в наданні обслуговування з інтенсивністю навантаження в цьому напрямку зв'язку і наявною кількістю в ньому каналів (Давидов, Смирнов, & Парамонов, 2016а; Соколов, & Яновський, 2010). За наявності (визначеності) двох із показників завжди можна розрахувати третій. Дуже часто виникає задача знаходження потрібної кількості каналів у напрямку зв'язку (лінії зв'язку) за певної інтенсивності навантаження для задоволення третього показника якості у вигляді вірогідності відмови (скинутих викликів) (Давидов, Смирнов, & Парамонов, 2016б; Лівшиць, Пшенічников, & Харкевіч, 1979; Клейнрок, 1979). Для цього застосування не існує аналітичного розв'язання задачі, оскільки кількість каналів входить у першу формулу Ерланга, по-перше, як верхній індекс додавання, по-друге, показник степеневі функції, по-третє, під знаком факторіала. В цьому випадку розв'язати поставлену задачу можна графічним методом.

Зазначений метод полягає в отриманні значень вірогідності відмови для певного діапазону кількості каналів для знаходження найменшої кількості каналів, для якої вірогідність відмови знижується нижче певного рівня. Як впливає з прямого застосування першої формули Ерланга, у процесі розрахунків у середовищі Matlab для великих значень кількості каналів й інтенсивності навантаження відбувається швидке переповнення розрядної сітки комп'ютера й отримання потрібних даних стає неможливим.

З огляду на це є актуальною задача знаходження альтернативного шляху обчислення на комп'ютері вірогідності відмови в обслуговуванні для великих значень інтенсивності навантаження та кількості каналів.

Постановка задачі. Добре відома і широко використовувана перша формула Ерланга обчислює значення для вірогідності відмови в обслуговуванні (скинутих викликів) залежно від інтенсивності навантаження і кількості каналів обслуговування та має такий вигляд (Зелігер, Чугреєв, & Яновський, 1984; Алієв, 2011):

$$P_n = \frac{y^n / n!}{\sum_{j=0}^n y^j / j!}, \quad (1)$$

де P_n – вірогідність відмови в обслуговуванні для n каналів; y – інтенсивність навантаження (Ерл.); n – кількість каналів.

© Плющ Олександр, Кравченко Юрій, Труш Олександр, 2023



Аналіз формули (1) дозволяє встановити, що за її використання можливі певні труднощі, які пов'язані з тим, що кількість каналів у ній фігурує як показник ступеня інтенсивності навантаження, міститься під знаком факторіала й виступає як найбільше значення індексу суми. З огляду на те, що в реальних напрямках зв'язку як інтенсивність навантаження, так і кількість каналів можуть сягати тисячі одиниць, слід очікувати переповнення розрядної сітки комп'ютера й отримання хибного результату. Для перевірки цього припущення, використаємо наявні у джерелах інформації результати розрахунку кількості каналів у мережі зв'язку за допомогою (1) для відомих значень вірогідності відмов та інтенсивності навантаження, які наведені в таблиці у роботі (Давидов, Смирнов, & Парамонов, 2016b).

Як впливає з таблиці, навіть у простих ситуаціях значення інтенсивності навантаження може сягати 800 Ерл., так само як і відповідні кількості каналів. Для перевірки можливості проведення обчислення (1) на комп'ютері за великих значень зазначених показників використаємо середовище Matlab, а як референтні візьмемо дані з таблиці.

Таблиця

Розрахунок кількості каналів для заданих інтенсивності навантаження та вірогідності відмов

Ділянка зв'язку	Інтенсивність навантаження, Ерл.	Вірогідність відмов, %	Кількість каналів
1	98,0	0,0008	127
2	237,5	0,0008	279
3	800,0	0,0008	869
4	450,0	0,0008	504
5	3,4	0,0002	12
6	12,5	0,0002	27
7	50,3	0,01	64
8	187,5	0,01	209
9	211,4	0,01	233
10	787,5	0,01	816
11	70,4	0,01	86

Проведемо обчислення з прямим використанням формули (1) і стандартних функцій обчислення ступеня і факторіала з подвійною точністю, що наявні в Matlab.

Першим розглянемо рядок 5 із таблиці. Результати обчислення для цього випадку зображено на рис. 1.

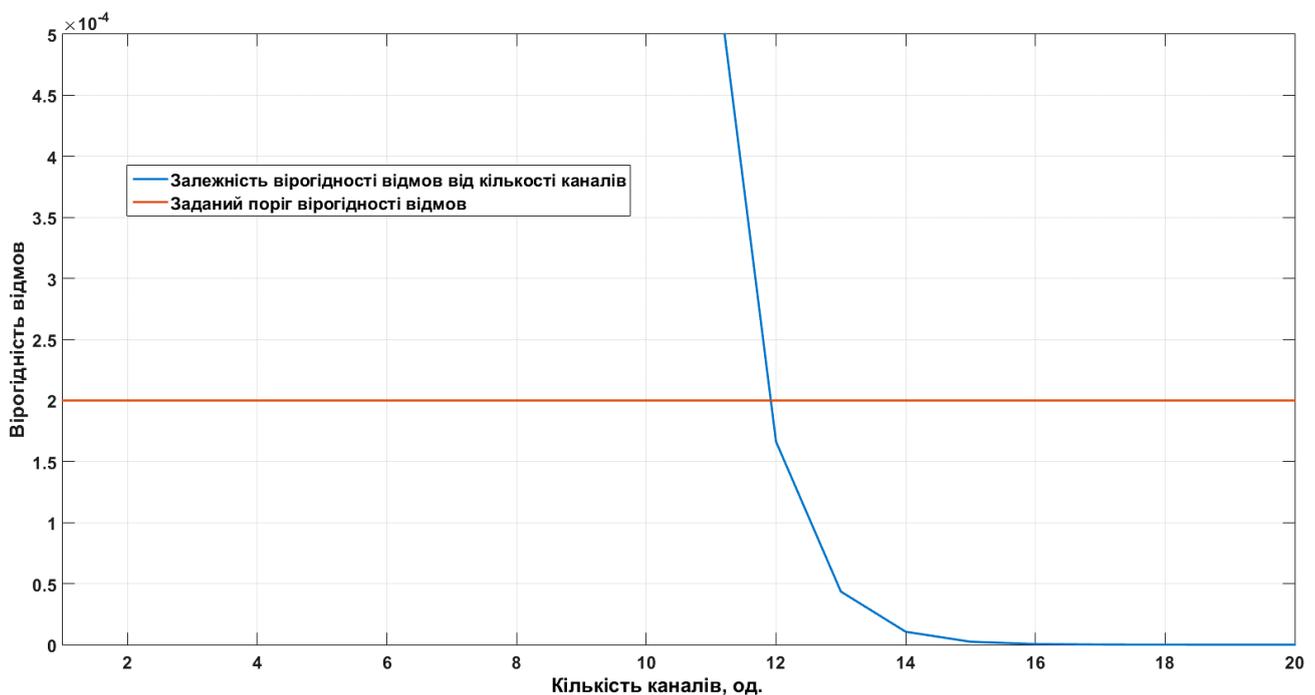


Рис. 1. Графічне розв'язання рівняння (1) щодо винайдення кількості каналів, що забезпечують потрібну вірогідність відмов для рядка 5 із таблиці

Як випливає з аналізу даних рис. 1, найменша необхідна кількість каналів, що забезпечує вимогу до якості зв'язку, становить 12. Це цілком узгоджується з даними таблиці. Перейдемо тепер до аналізу більших значень інтенсивності навантаження.

На рис. 2 зображено розв'язання першої формули Ерланга для рядка 7 із таблиці. Як відомо з цієї таблиці, в такому випадку інтенсивність навантаження становить 50,3 Ерл. при потрібній вірогідності відмов 0,01 %. І знову для цих початкових даних пряме застосування (1) дає правильний результат, який становить 64 канали.

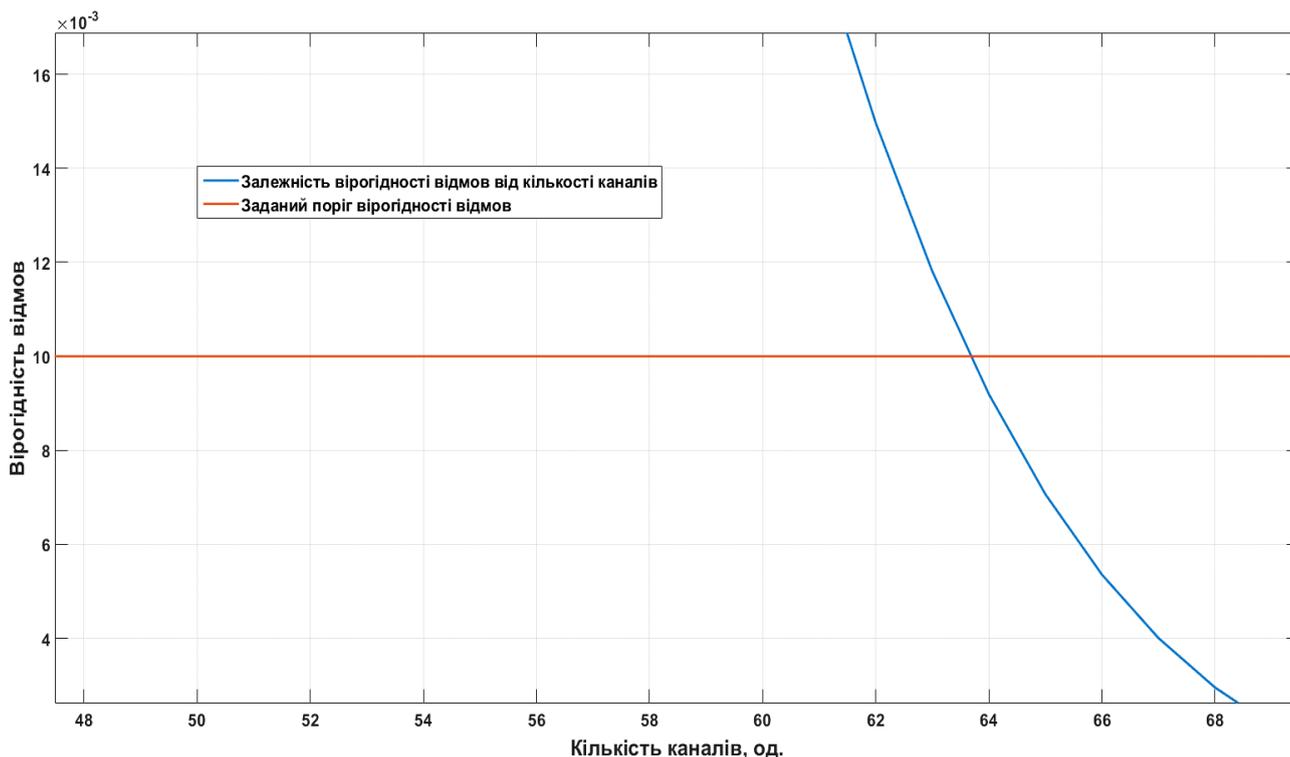


Рис. 2. Графічне розв'язання рівняння (1) щодо винайдення кількості каналів, що забезпечують потрібну вірогідність відмов для рядка 7 із таблиці

Тепер звернемо увагу на ще більші значення вхідних параметрів і розглянемо рядок 9 із таблиці. Графічне розв'язання (1) для цієї ситуації зображено на рис. 3.

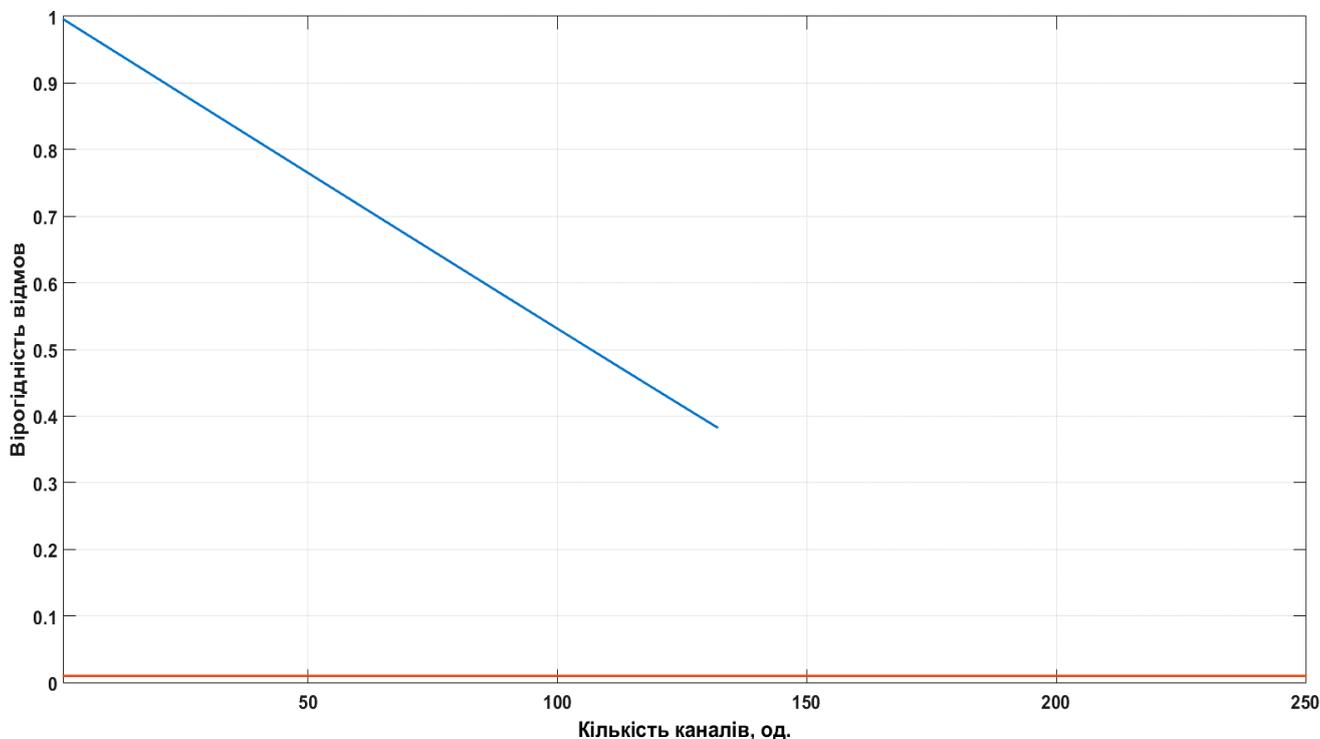


Рис. 3. Графічне розв'язання рівняння (1) щодо винайдення кількості каналів, що забезпечують потрібну вірогідність відмов для рядка 9 із таблиці

Аналіз даних із рис. 3 дозволяє стверджувати, що вже для інтенсивності навантаження 211,4 Ерл. і кількості каналів приблизно 130 шт., формула (1) у разі прямого її застосування в середовищі Matlab перестає працювати, що



пов'язано з переповненням розрядної сітки комп'ютера. Звісно ділянки 3, 4, 10 із таблиці, для яких значення інтенсивності навантаження є в рази більшими, не можуть бути обчислені взагалі.

Отже, у процесі проектування телекомунікаційних мереж постає проблема з прямим застосуванням формули (1) для достатньо великих значень інтенсивності навантаження і кількості каналів у напрямку зв'язку. Для розв'язання проблеми запропоновано перетворення (1) таким чином, щоб запобігти переповненню розрядної сітки комп'ютера.

Методи

Щоб розв'язати сформульовану проблему, пропонується використати методи аналітичної алгебри й імітаційного комп'ютерного моделювання й аналізу складних систем.

Для отримання розв'язання поставленої проблеми проаналізуємо уважно (1). Застосуємо методи аналітичної алгебри. Перше, на що треба звернути увагу: ця формула є дуже зручною для рекурентних процедур, оскільки в ній наявна сума від 0 до кількості каналів n . Але, щоб реалізувати цю перевагу, треба поміняти місцями чисельник і знаменник і обчислити величину, зворотну обернену вірогідності відмов. З урахуванням цього зауваження, (1) можна переписати так:

$$\frac{1}{p_n} = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{y^j}{j!}}{y^n / n!}. \quad (2)$$

Наступним спостереженням є те, що для будь-якої кількості каналів n знаменник у (2) завжди дорівнює останньому доданку суми в чисельнику (2). З огляду на це, (2) можливо представити як

$$\frac{1}{p_n} = \frac{\sum_{j=0}^{n-1} \frac{y^j}{j!} + \frac{y^n}{n!}}{\frac{y^n}{n!}} = \frac{\sum_{j=0}^{n-1} \frac{y^j}{j!}}{\frac{y^n}{n!}} + \frac{y^n}{n!} = \frac{\sum_{j=0}^{n-1} \frac{y^j}{j!}}{\frac{y^{n-1}}{(n-1)!} \frac{y}{n}} + 1 = \left\{ \frac{\sum_{j=0}^{n-1} \frac{y^j}{j!}}{\frac{y^{n-1}}{(n-1)!}} \right\} \frac{1}{\frac{y}{n}} + 1 = \frac{1}{p_{n-1}} \frac{n}{y} + 1. \quad (3)$$

У формулі (3) враховано, що вираз у фігурних дужках, позначений як $1/p_{n-1}$, представляє величину, яка є зворотною для вірогідності відмов для $n-1$ каналів зв'язку.

Отже, вираз (3) по суті є просто рекурентною формулою, що пов'язує вірогідність відмов для n каналів із вірогідністю відмов для $n-1$ каналів через інтенсивність навантаження y та кількість каналів n , яка не може мати жодних проблем із переповненням розрядної сітки і не втрачає в точності розрахунків через перехід до обчислень із плаваючою точкою. Перевіримо це на практичних розрахунках у Matlab.

Результати

Для доведення ефективності отриманих рівнянь у проведенні обчислень, повернемося до невдалих розрахунків із прямим використанням (1), що зображені на рис. 3. Виконаємо обчислення із застосуванням отриманої рекурентної формули (3) для початкових умов ділянки 9 із таблиці. Графік, що відповідає цій ситуації, зображено на рис. 4.

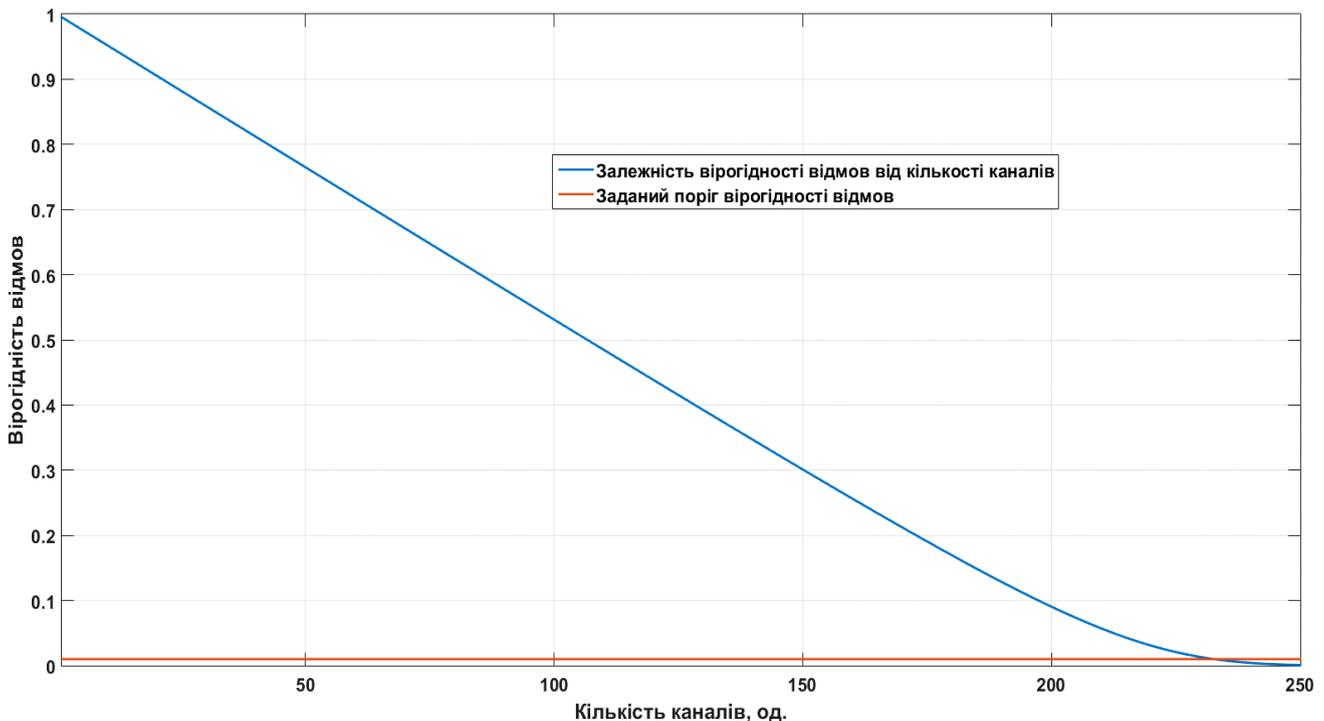


Рис. 4. Графічне розв'язання рівняння (3) щодо винайдення кількості каналів, що забезпечують потрібну вірогідність відмов для рядка 9 із таблиці



Як впливає з аналізу даних на рис. 4, жодних проблем із переповненням розрядної сітки комп'ютера не впливає і результат становить приблизно 235 каналів. Для встановлення точного значення кількості каналів, потрібно збільшити масштаб. Ту саму ситуацію, що і на рис. 4, але зі збільшеним масштабом, показано на рис. 5.

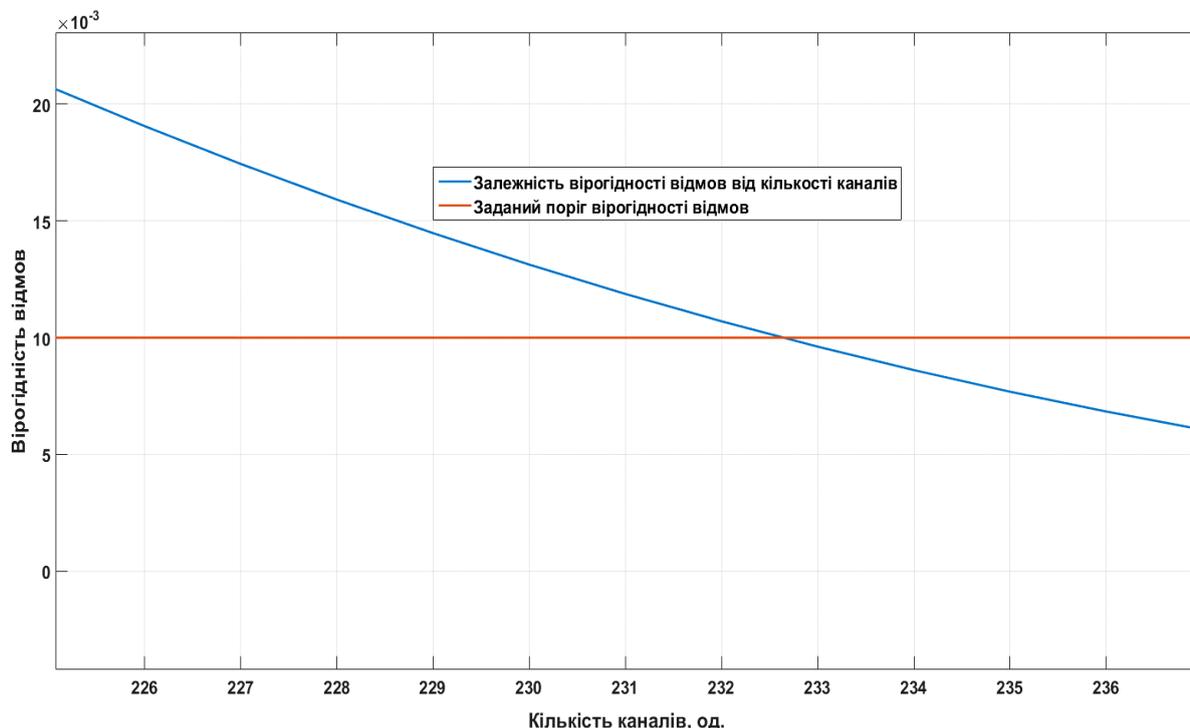


Рис. 5. Графічне розв'язання рівняння (3) щодо винайдення кількості каналів, що забезпечують потрібну вірогідність відмов для рядка 9 із таблиці у збільшеному масштабі

З аналізу кривих на рис. 5 випливає, що найменша кількість каналів, яка забезпечує потрібну якість зв'язку, дорівнює 233. Ці дані повністю збігаються з тими, що наведені в таблиці для рядка 9.

Для остаточної перевірки алгоритму (3) використаємо його для розрахунку кількості каналів для ділянки 3 з таблиці, для якої інтенсивність навантаження є найбільшою – 800 Ерл. Такі дані зображено на рис. 6.

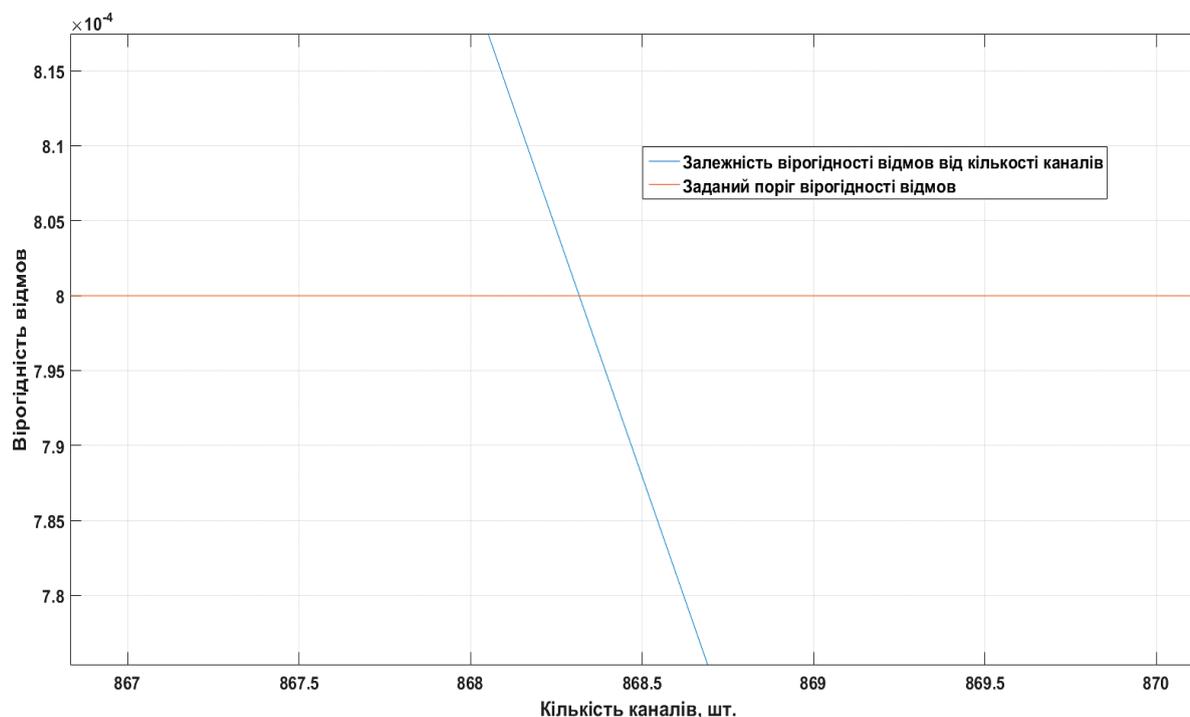


Рис. 6. Графічне розв'язання рівняння (3) щодо винайдення кількості каналів, що забезпечують потрібну вірогідність відмов для рядка 3 з таблиці у збільшеному масштабі



Аналіз даних рис. 6 демонструє, що навіть для таких великих значень кількості каналів й інтенсивності навантаження розроблений рекурентний алгоритм (3) демонструє гарну працездатність і отримана кількість каналів – 869, збігається з даними таблиці.

Висновки

Розглянуто використання першої формули Ерланга для обчислення потрібної кількості каналів у напрямку зв'язку для забезпечення необхідної вірогідності відмови. Під час досліджень встановлено, що у разі прямої практичної реалізації першої формули Ерланга в середовищі Matlab, на комп'ютері виникають переповнення розрядної сітки комп'ютера навіть для помірних значень кількості каналів та інтенсивності навантажень. Для розв'язання виявленої проблеми проведено детальний аналіз першої формули Ерланга і на її основі синтезовано рекурентний алгоритм, що усуває виявлені недоліки. Розроблений алгоритм є простим, зручним і у розрахунках показав свою ефективність навіть для найбільших значень інтенсивності навантажень і кількості каналів. Розроблений рекурентний алгоритм може широко використовуватись для проектування телекомунікаційних мереж і систем зв'язку.

Внесок авторів: Олександр Плющ – розроблення методів і методології дослідження, створення комп'ютерної програми; Юрій Кравченко – огляд літературних джерел, збір емпіричних даних і проведення емпіричних досліджень; Олександр Труш – опис результатів і написання висновків.

Список використаних джерел

- Алієв, Т. І. (2011). *Мережі ЕОМ і телекомунікації*. Університет інформаційних технологій, механіки та оптики.
Гольдштейн, Б. С., Соколов, Н. А., & Яновський, Г. Г. (2010). *Мережі зв'язку*. БХВ.
Давидов, А. Е., Смирнов, П. І., & Парамонов, А. І. (2016а). *Проектування телекомунікаційних систем та мереж: Мережі зв'язку що комутуються. Розрахунок параметрів і аналіз трафіку*. Університет інформаційних технологій, механіки та оптики.
Давидов, А. Е., Смирнов, П. І., & Парамонов, А. І. (2016б). *Проектування телекомунікаційних систем та мереж: Лабораторні дослідження мереж зв'язку і передачі даних*. Університет інформаційних технологій, механіки та оптики.
Зелігер, Н. Б., Чугреев, О. С., & Яновський, Г. Г. (1984). *Проектування мереж та систем передачі дискретних повідомлень*. Радіо та зв'язок.
Клейнрок, Л. (1979). *Теорія масового обслуговування*. Машинобудування.
Лівшиць, Б. С., Пшенічний, А. П., & Харкевіч, А. Д. (1979). *Теорія телетрафіку*. Зв'язок.
Степков, В. К., & Беркман, Л. Н. (2002). *Проектування телекомунікаційних мереж*. Техніка.

References

- Aliev, T. I., (2011). *Networks of computers and telecommunications*. Information Technologies, Mechanics and Optics University [in Ukrainian].
Davydov, A. E., Smirnov, P. I., & Paramonov, A. I. (2016a). *Telecommunication Systems and Networks Design. Laboratory Studies of Networks of Communication and Data Transfer*. Information Technologies, Mechanics and Optics University [in Ukrainian].
Davydov, A. E., Smirnov, P. I., & Paramonov, A. I. (2016b). *Telecommunication Systems and Networks Design: Switched Networks of Communication. Parameters Calculation and Traffic Analysis*, Information Technologies, Mechanics and Optics University [in Ukrainian].
Goldstein, B. S., Sokolov, N. A., & Yanovskiy, G. G. (2010). *Communication Networks*. BKhV [in Ukrainian].
Kleinrok, L. (1979). *Queueing Theory*. Mashinobudovanya [in Ukrainian].
Livshits, B. S., Pshenichniy, A. P. & Kharkevich, A. D. (1979). *Teletraffic Theor. Zvyazok* [in Ukrainian].
Steklov, V. K., & Berkman, L. N. (2002). *Telecommunication networks design*. Tekhnika [in Ukrainian].
Zeliger, N. B., Chugreev, O. S., & Yanovskiy, G. G. (1984). *Design of the networks and systems of discreet messages transmission*. Radio and Zvyazok [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 05.11.22
Прорецензовано / Revised: 16.11.22
Схвалено до друку / Accepted: 22.11.22

Oleksandr PLIUSHCH, DSc (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-5310-0660
e-mail: oleksandr.pliushch@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Yurii KRAVCHENKO, DSc (Engin.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-0281-4396
e-mail: yurii.kravchenko@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Oleksandr TRUSH, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-4188-2850
e-mail: oleksandr.trush@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

RECURRENT ALGORITHM OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORKS DESIGN

Background. The Erlang B-formula that establishes a relationship between probability of dropped calls, call intensity in a certain link and available communication channels in this link is widely used in telecommunication networks' design and calculations. In a great number of applications, a problem emerges of finding required number of channels in a link for set call intensity to satisfy required probability of dropped calls.

Methods. Methods of computer simulation as well as complex systems analysis.

Results. With account of the fact that the number of channels enters Erlang B-formula, firstly, as upper index of summation, secondly, exponent of the exponent function and, thirdly, in the factorial, the solution of the problem is possible graphically. This approach includes calculation of the dropped calls probability for a certain range of numbers of channels to determine the first channel' number for which dropped call probability results in a value below the threshold. The paper shows that for big values of the number of channels and call intensity direct use of Erlang B-formula on a computer leads to quick bit grid overflow and inability to fulfill required calculations. To overcome this problem, a recurrent algorithm is proposed to resolve the task, which is derived from Erlang B-formula and due to its structure does not suffer from the above limitations while performed on a computer.

Conclusions. Research results of the proposed algorithm demonstrate its high efficiency in implementation in Matlab environment. It is thought that the algorithm can find wide application in telecommunication networks design.

Keywords: telecommunication network, Erlang B-formula, recurrent algorithm, Matlab.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



ІНФОРМАЦІЙНА АНАЛІТИКА Й АНАЛІТИКА ДАНИХ



Григорій ГНАТІЄНКО, канд. техн. наук
ORCID ID: 0000-0002-0465-5018
e-mail: hnatiienko@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Олег Іларіонов, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-7435-3533
e-mail: oleg.ilarionov@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Наталія Тмєнова, канд. фіз.-мат. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-1088-9547
e-mail: natalia.tmienova@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ УКРАЇНСЬКОГО НАУКОВОГО ПРОСТОРУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРО ЗАХИСТ ДИСЕРТАЦІЙ

Вступ. Розглянуто поняття наукового простору й особливості його формування в Україні.

Методи. Застосовано методи евристичного аналізу слабкоструктурованої інформації.

Результати. Досліджено структуру інформації про захищені дисертації. Введено евристики, які, по-перше, сприяють структуруванню наявної слабкоструктурованої інформації, по-друге, доповнюють інформацію, якої не вистачає для формалізації задачі до відомих математичних моделей, по-третє, апріорно декларують позицію авторів, намічають канеу подальшого викладення матеріалу й застороги на проведення дослідження, якими автори обмежують себе. Наведено підходи до аналізу дисертацій, захищених в Україні протягом 1993–2020 рр. Перелічено параметри захищених дисертацій, значення яких наявні у базах даних відкритого доступу, та присвоєно їм ідентифікатори. Здійснено аналіз українських міст, у яких виконано та захищено велику кількість дисертацій. Такі міста визначено як наукові центри. Побудовано матрицю статистики взаємозв'язків між науковими організаціями українських міст. Проілюстровано взаємозв'язки між містами України та відображено схему цих зв'язків на карті України. Таким чином здійснено попереднє структурування наукового простору в розрізі підготовки та захисту дисертацій. Розроблено моделі й визначено напрями подальшого дослідження наукового простору України. Запропоновано на основі аналізу тексту виділити ключові слова в анотаціях дисертацій і визначити напрями досліджень, проаналізувавши міри схожості між наборами ключових слів, пов'язаних із дисертаціями.

Висновки. Впровадження результатів дослідження сприятиме всебічному розвитку наукового простору в Україні та посиленню її наукового потенціалу.

Ключові слова: науковий простір, слабкоструктурована система, евристика, дисертація, матриця суміжності, наукові центри, тематика досліджень, формалізація.

Вступ

Наукові дослідження мають тисячолітню історію і давно стали фундаментальною опорою суспільного прогресу. Цю роботу присвячено дослідженню одного з аспектів інформаційних потоків і специфічних наукових взаємозв'язків, пов'язаних із дисертаціями.

Сучасний етап розвитку людської цивілізації, який визначають як перехід до суспільства знань, характеризується якісно новими вимогами до розвитку науки. Протягом років незалежності в Україні захищено понад 130 тис. кандидатських та понад 20 тис. докторських дисертацій (Національне агентство..., 2020; Державна служба статистики України, 2020). Можна впевнено констатувати, що дисертації є елементами наукового простору (НП), який є структурним елементом соціального простору і може розглядатися як складна слабкоструктурована система.

НП відображує взаємодію об'єктів, які мають відношення до науки. Упорядкування цієї взаємодії, структурування різних областей НП сприятиме кращому його розумінню, підвищенню керованості та прогресивному розвитку.

Нині серед дослідників не існує однозначного й адекватного розуміння НП, який є частиною соціального простору, поряд із релігійним, правовим, моральним, естетичним, філософським просторами. Параметри НП фіксують місце, спрямованість, глибину і протяжність діяльності соціальних суб'єктів, націлених на наукове освоєння оточуючого середовища (Воловик та ін., 2011). Загалом поняття "науковий простір" визначає місце науки в культурі, окреслює і локалізує її властивості як специфічного поля.

Оскільки НП – складне багатоаспектне явище, то не можна дати якоесь єдине означення цього поняття, і тому існують кілька означень НП (Корнієнко, Плахотнюк, & Корнієнко, 2010). Прийнято розрізняти різні аспекти поняття НП (Корнієнко, Плахотнюк, & Корнієнко, 2010): номінальне, семантичне, синтаксичне, прагматичне.

З погляду номінального означення (Корнієнко, Плахотнюк, & Корнієнко, 2010), НП – це мережа пізнавальних процесів, у межах яких функціонує наука. Поняття НП окреслює складну конфігурацію не тільки знаннєвої складової науки, але й наукову інфраструктуру – наукові інституції, наукові комунікації, процеси підготовки вчених до фахової діяльності тощо.

З погляду синтаксичного означення (Корнієнко, Плахотнюк, & Корнієнко, 2010), НП – це знакова система, безвідносно до інтерпретації знаків, тобто співвідношення знаків одного з одним, яка функціонально незалежна від інтерпретації знаків. У синтаксичному означенні НП підкреслено специфіку правил і норм, на основі яких будується науковий текст і здійснюється пізнавальний процес.

У семантичному (предметно-смісловому (Марченко, 2012)) означенні, НП є відношенням між знаком та його змістом: це структура спеціально розробленої мови, значення і смисл якої визначають дослідженням взаємодії з їхніми об'єктами.

© Гнатієнко Григорій, Іларіонов Олег, Тмєнова Наталія, 2023



У прагматичному означенні (Корнієнко, Плахотнюк, & Корнієнко, 2010), НП є відношенням знаків з їхніми відправниками, одержувачами та контекстом діяльності – це сфера операціональної діяльності суб'єктів, що переслідують відповідні інтереси.

Усі ці означення стосуються окремих аспектів НП, а його цілісна характеристика є суперпозицією зазначених означень та інших аспектів, які характеризують особливості феномену НП.

Водночас феномен НП пройшов через різні стадії розвитку, а його дослідження здійснювали застосуванням різних підходів і спроб формалізації:

- полів науковості;
- пізнавальних полів;
- просторів мереж спілкування дослідників;
- полів напруги в науці;
- полів концентрації наукових сил;
- предметно-сміслових полів;
- простору інтелектуальної уваги тощо.

НП є складною слабкоструктурованою системою, яку доцільно досліджувати методами теорії прийняття рішень. Причому дослідження НП є погано формалізованою задачею. Тому її формалізація може сприяти осмисленому й обґрунтованому прийняттю рішень у цій предметній області.

Логічно встановити таку ієрархічну послідовність складових НП, яка є значною мірою умовною, але відображує різні рівні дослідження НП:

- НП окремої особи, що здійснює наукову діяльність;
- НП наукової школи або наукового напрямку;
- НП наукового колективу;
- НП наукової організації;
- НП окремої галузі науки;
- міжгалузевий НП;
- національний НП;
- міжнаціональний НП.

Є різні підходи до дослідження НП (Рашкевич, 2014). Наприклад, шляхом аналізу мереж наукової співпраці (Moed, Glanzel, & Schmoch, 2004; Ding, 2011). Наукові ступені, вчені звання слугують не лише мотивації наукових і науково-педагогічних працівників, але і структуруванню окремих складових НП. Деякі задачі дослідження науково-дослідної діяльності суб'єктів та об'єктів НП розглянуто у роботах (Biloshchytskyi et al., 2017a; Biloshchytskyi et al., 2017b; Kuchansky, 2020). У сучасному світі, в умовах глобалізації українські науковці зобов'язані бути інтегрованими в єдиний інформаційний науковий простір. Українська наука, попри всі втрати та проблеми, зберегла здатність виконувати дослідження світового рівня з багатьох важливих напрямів.

Вивчення НП є актуальним, зокрема і через те, що нині продовжується тенденція до подальшого диференціювання наукових знань. Причому кордони взаємодії вчених розширюються, а межі між різними галузями науки все більше розмиваються.

Мета та завдання дослідження. Метою цієї роботи є дослідження інформації про дисертації, які захищені в Україні протягом років її незалежності. Формалізація основних задач, які виникають і можуть бути розв'язані шляхом аналізу бази даних дисертацій, захищених в Україні, підвищує структурованість цієї предметної області. Таке дослідження сприятиме збільшенню структурованості НП, що, так само, дозволяє глибше вивчити ситуацію, обґрунтувати й адекватно прийняти рішення у предметних областях, пов'язаних з НП.

Для досягнення сформульованої мети слід розв'язати такі задачі:

- виділити центри наукових досягнень – міста, з якими пов'язано захист дисертацій;
- обчислити частоту виконання та захисту дисертацій у різних містах і різних організаціях;
- визначити зв'язки між містами, зафіксувати цю інформацію у вигляді матриці суміжності та візуалізувати ці зв'язки у вигляді графа;
- візуалізувати географію міст України, у яких виконувалися та захищалися кандидатські й докторські дисертації.

Дослідження структури досліджуваного об'єкта є важливим етапом пізнання різноманітності зв'язків, що наявні всередині досліджуваного об'єкта (Монастирський, 2014). Це є одним із проявів системності. Інший прояв полягає у виявленні внутрішньо-організаційних відносин і взаємин об'єкта з іншими складовими системи вищого рівня. У зв'язку із цим необхідно, по-перше, розглядати окремі властивості досліджуваного об'єкта в їхньому співвідношенні з об'єктом як цілим, а по-друге, розкрити закони поведінки.

Методи

Для проведення досліджень наукового простору України пропонується використовувати методи статистичного, евристичного та порівняльного аналізу. Нижче наведено евристики, які застосовано у дослідженні.

Структура інформації про захищені дисертації. Як основу дослідження НП у цій роботі вибрано інформацію про виконання та захист дисертацій в Україні. Відповідно до (Чорний, Перцева, & Голопич, 2019), тема дисертації має бути значущою, оскільки визначає престиж вітчизняної науки і є фундаментом для практичних досліджень. Тому логічно на підставі статистичних досліджень і порівняльного аналізу дисертацій робити висновки щодо структури НП України.

Евристика Е1. Дисертації та факт їхнього захисту достатньою мірою відображують рівень наукових досліджень і можуть бути використані для структурування НП.

Зазначимо, що дисертація є концентрованою, добре структурованою та достатньою мірою формалізованою інформацією щодо результатів наукових досліджень. Зауважимо також, що інформація про загальну кількість та основні атрибути цих дисертацій є у вільному доступі.



Евристика E2. Міста, у яких виконано або захищено значну кількість дисертацій, є лідерами наукових досліджень України.

Наявні параметри бази даних, яка містить основну інформацію про дисертації українських науковців, які одержані з відкритих джерел: Реєстраційний номер, Дата реєстрації, Назва дисертації, Анотація, Прізвище, ім'я, по батькові автора, Назва групи наук і науковий ступінь, Спеціальність, Галузь науки та науковий ступінь, Організація_1, у якій виконано дисертацію, Міністерство, до якого належить Організація_1, Організація_2, у якій захищено дисертацію, Міністерство, до якого належить Організація_2, Організація_3, у якій захищено дисертацію, Міністерство, до якого належить Організація_3, Конкретизація спеціальності, УДК, Уточнення УДК, Дата_1, Дата_2.

Наповнення бази даних є достатнім і може бути використаним як основа для проведення аналізу у цьому напрямі досліджень. На основі аналізу міст, у яких виконувалися та захищалися дисертації, у подальшому можна планувати заходи щодо зміцнення кооперації між різними регіонами України, координації діяльності наукових центрів, заходи щодо сприяння взаємодії між галузями науки тощо.

Для подальшого аналізу використовуватимемо такі параметри $a_i, i \in I$, значення яких наявні у базах даних відкритого доступу:

- a_1 – Назва дисертації;
- a_2 – Анотація;
- a_3 – Прізвище, ім'я, по батькові автора;
- a_4 – Назва групи наук і науковий ступінь;
- a_5 – Спеціальність;
- a_6 – Галузь науки і науковий ступінь;
- a_7 – Організація_1, у якій виконано дисертацію;
- a_8 – Міністерство, якому підпорядкована Організація_1;
- a_9 – Організація_2, у якій захищено дисертацію;
- a_{10} – Міністерство, якому підпорядкована Організація_2;
- a_{11} – Організація_3, у якій захищено дисертацію;
- a_{12} – Міністерство, якому підпорядкована Організація_3;
- a_{13} – Конкретизація спеціальності;
- a_{14} – УДК;
- a_{15} – Уточнення УДК;
- a_{16} – Дата захисту дисертації.

Моделювання взаємозв'язків між науковими центрами України. Евристика E3. Організації, у яких виконувалися або захищалися кілька десятків дисертацій, є науковими центрами України.

Нехай задано множину n елементів $A = \{a_1, \dots, a_n\}$. На цьому етапі досліджень елементами множини A є міста України, в яких виконувалися та захищалися дисертації.

Для подальших досліджень уведемо множини, елементи яких використовуватимемо для кількісних показників структурирування НП:

- S^1 – множина взаємозв'язків між містами, які пов'язані із захистом дисертацій;
- S^2 – множина всіх наявних взаємозв'язків між організаціями, які пов'язані із захистом дисертацій;
- S^3 – кластери центрів наукових досліджень;
- S^4 – центри захисту дисертацій за спеціальностями;
- S^5 – множина дисертацій, доступних у базі даних.

З наведених вище означень очевидним є те, що множина S^2 взаємозв'язків між організаціями є підмножиною множини S^1 зв'язків між містами, які пов'язані із захистом дисертацій.

Моделюватимемо структуру НП України зваженим графом. Вершинами графа є міста України. Початкова вершина – місто, в якій виконувалася дисертація, вхідна вершина – місто, в якому відбувався захист дисертації.

Побудуємо матрицю статистики захистів дисертацій $B^1 = (b_{ij}^1)$, елементи якої генерують за такими правилами:

$$b_{ij}^1 = \begin{cases} - \text{сума таких } i, \text{ для яких існує шлях з вершини } a_i \text{ в вершину } a_j; \\ - \text{сума зі знаком "мінус" таких } i, \text{ для яких існує шлях із вершини } a_j \text{ в вершину } a_i; \\ -0, \text{ якщо шляху з вершини } a_i \text{ в вершину } a_j \text{ не існує (нульові значення опускаємо)}. \end{cases}$$

$a_i \in A^1$ – множина міст, у яких виконувалися дисертації;

$a_j \in A^2$ – множина міст, у яких захищалися дисертації.

$$A^1 \cup A^2 = A, A^1 \cap A^2 \neq \emptyset.$$



Аналіз показує, що взаємодія між науковими центрами може досягти досконалішого управління процесами наукових досліджень.

Можна виявити тенденції до наукової кооперації та прогнозувати подальшу кооперацію.

Для аналізу захищених в Україні дисертацій слід застосовувати методи штучного інтелекту.

Висновки

У роботі розглянуто поняття наукового простору та його особливості в Україні. Наведено підходи до аналізу дисертацій, захищених в Україні протягом 1993–2020 рр. Здійснено аналіз українських міст, у яких виконувалися та захищалися дисертації. Такі міста визначено як наукові центри. Таким чином здійснено попереднє структурування НП в розрізі підготовки та захисту дисертацій. Розроблено моделі й визначено напрями подальшого дослідження НП України, зокрема й аналіз захисту дисертацій в Україні та всіх можливих наукових взаємозв'язків між колективами вчених, пов'язаних із процедурами виконання дисертаційних досліджень і захисту дисертацій.

Внесок авторів: Григорій Гнатієнко – розроблення методів і методології дослідження; Олег Іларіонов – огляд літературних джерел, опис результатів і написання висновків; Наталія Тменова – збір емпіричних даних і проведення емпіричних досліджень.

Список використаних джерел

- Воловик, В. І., Лепський, М. А., Бутченко, Т. І., & Краснокутський, О. В. (2011). *Соціальна філософія*. Просвіта.
- Державна служба статистики України (2020). <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- Єдиний державний вебпортал відкритих даних (2019). https://data.gov.ua/dataset?tags=національний_репозитарій
- Корнієнко, В. О., & Плахотнюк, С. С. (2010). Науковий простір як інтегративна система: структурний аналіз поняття. *Електронне наукове видання матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції "Гуманізм та освіта"*. <http://conf.vntu.edu.ua/humed/2010/txt/kornienko.php>
- Марченко, О. В. (2012). *Методологічні стратегії дослідження освітнього простору*. Інновація.
- Монастирський, Г. Л. (2014). *Теорія організації*. Західноукраїнський національний університет.
- Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти. (2020). *Річний звіт Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти за 2019 рік*. https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/30705/1/O_Melnychenko_NDVGOSUS_AO_PI.pdf
- Рашкевич, Ю. М. (2014). *Болонський процес та нова парадигма вищої освіти*. Львівська політехніка.
- Чорний, І. В., Перцева, В. А., & Голопич, І. М. (2019). *Методологія дисертаційного дослідження. Мовні особливості наукового стилю*. Харківський національний університет внутрішніх справ.
- Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., Biloshchytska, S., Dubnytska, A., & Vatskel, V. (2017). The Method of the Scientific Directions Potential Forecasting in Infocommunication Systems of an Assessment of the Research Activity Results. *2017 IEEE International Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology"* (p. 69–72). doi: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246352
- Biloshchytskyi, A., Myronov, O., Reznik, R., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., & Paliy, S. (2017). A method to evaluate the scientific activity quality of HEIs based on a scientometric subjects' presentation model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(2(90)), 16–22. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118377
- Ding, Y. (2011). Scientific collaboration and endorsement: Network analysis of coauthorship and citation networks. *Journal of Informetrics*, 5(1), 187–203. doi: 10.1016/j.joi.2010.10.008
- Kuchansky, A. (2020). Components of scientific network analysis. *Management of development of complex systems*, (41), 115–126. doi.org/10.32347/2412-9933.2020.41.115-126
- Moed, H., Glanzel, W., & Schmoch, U. (2004). *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*. Springer Netherlands.

References

- Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., Biloshchytska, S., Dubnytska, A., & Vatskel, V. (2017). The Method of the Scientific Directions Potential Forecasting in Infocommunication Systems of an Assessment of the Research Activity Results. *2017 IEEE International Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology"* (p. 69–72). doi: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246352
- Biloshchytskyi, A., Myronov, O., Reznik, R., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., & Paliy, S. (2017). A method to evaluate the scientific activity quality of HEIs based on a scientometric subjects' presentation model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 2 (90), 16–22. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118377
- Chorniy, I. V., Pertceva, V. A., & Golopich, I. M. (2019). *Methodology of thesis research. Language distinctions of the scientific style: handbook*. Kharkiv National University of Internal Affairs [in Ukrainian].
- Ding, Y. (2011). Scientific collaboration and endorsement: Network analysis of coauthorship and citation networks. *Journal of Informetrics*, 5(1), 187–203. doi: 10.1016/j.joi.2010.10.008
- Joint State Open Data Web Portal. https://data.gov.ua/dataset?tags=національний_репозитарій [in Ukrainian].
- Kornienko, V. O., Plakhotnyuk, S. S., & Kornienko, V. O. (2010). Scientific Space as Integrated System: Structural Analysis of the Notion. *Internet publication of the proceedings of X International Scientific-Practical Conference "Humanism and Education"*. <http://conf.vntu.edu.ua/humed/2010/txt/kornienko.php> [in Ukrainian].
- Kuchansky, A. (2020). Components of scientific network analysis. *Management of development of complex systems*, (41), 115–126. doi: 10.32347/2412-9933.2020.41.115-126
- Marchenko, O. V. (2012). *Methodological Strategies of Scientific Space Research*. Innovatciya [in Ukrainian].
- Moed, H., Glanzel, W., & Schmoch, U. (2004). *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*. Springer Netherlands.
- Monastyrskiy, G.L. (2014). *Organization Theory*. West Ukrainian National University [in Ukrainian].
- National Agency for Higher Education Quality Assurance. (2020). *Annual report of National Agency for Higher Education Quality Assurance for the year 2019*. https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/30705/1/O_Melnychenko_NDVGOSUS_AO_PI.pdf [in Ukrainian]
- Rashkevich, Yu. M. (2014). *Bologna Process and New Paradigm of the Higher Education*. Lviv Polytechnica [in Ukrainian].
- The State Statistics Service. <http://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].
- Volovik, V. I., Lepskiy, M. A., Butchenko, T. I., & Krasnokutskiy, O. V. (2011). *Social philosophy*. Prosvita [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 25.01.23

Прорецензовано / Revised: 03.02.23

Схвалено до друку / Accepted: 10.02.23



Hryhorii HNATIENKO, PhD (Engin.)
ORCID ID: 0000-0002-0465-5018
e-mail: hnatiienko@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Oleh ILARIONOV, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-7435-3533
e-mail: oleg.ilarionov@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Nataliia TMIENOVA, PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1088-9547
e-mail: natalia.tmienova@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

MODELING OF THE UKRAINIAN SCIENTIFIC SPACE BASED ON THE ANALYSIS OF DATA ON THE DEFENSE OF DISSERTATIONS

B a c k g r o u n d . *The paper considers the concept of scientific space and the peculiarities of its formation in Ukraine.*

M e t h o d s . *Methods of heuristic analysis of weakly-structured information are used.*

R e s u l t s . *The structure of information about defended theses was studied. Heuristics, which, firstly, contribute to the structuring of the existing weakly structured information, secondly, supplement the information that is not enough to formalize the problem to known mathematical models, thirdly, declare the position of the authors a priori, mark the outline of the further presentation of the material and research limitations, which the authors limit themselves are introduced. Approaches to the analysis of theses defended in Ukraine during 1993-2020 are presented. Parameters of defended theses whose values are available in open-access databases and identifiers assigned to them are listed. An analysis of Ukrainian cities in which a large number of theses were completed and defended was carried out. Such cities are defined as scientific centers. A matrix of statistics of correlations between scientific organizations of Ukrainian cities was built. An illustration of the correlations between the cities of Ukraine is provided, and the diagram of these correlations is displayed on the map of Ukraine. In this way, the preliminary structuring of the scientific space in terms of preparation and defense of theses was carried out. Models were developed and directions for further research of the scientific space of Ukraine were determined. Based on text analysis, it is proposed to identify keywords in abstracts of theses and to determine research directions by analyzing the degree of similarity between sets of keywords related to theses.*

C o n c l u s i o n s . *Implementation of the research results will foster versatile development of the scientific space in Ukraine and strengthen its scientific potential.*

K e y w o r d s : *scientific space, weakly structured system, heuristics, thesis, adjacency matrix, scientific centers, research topic, formalization.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.



ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЄКТАМИ



Мирослава ГЛАДКА, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0001-5233-2021
e-mail: myroslava.gladka@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Олександр КУЧАНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-1277-8031
e-mail: kuchansky@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ростислав ЛІСНЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-9006-6366
e-mail: lisnevskiy.rostyslav@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ФОРМУВАННЯ КОМАНДИ ІТ-ПРОЄКТУ НА ОСНОВІ КОМПЕТЕНТІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСОНАЛУ

Вступ. Розглянуто формування команди ІТ-проєкту на основі оцінювання компетентнісних характеристик персоналу.
Методи. Використано мультиагентний метод формування команд з огляду на аналіз матриці компетентностей.

Результати. Описано задачу формування команди проєкту з розроблення та впровадження ІТ-систем в умовах обмеження кількості трудових ресурсів. Узв'язавши за основу визначення показників компетентності працівників компанії чи підрядних організацій, що можуть бути залучені до виконання проєктних робіт, побудовано метод формування проєктної команди на основі аналізу матриць компетентностей. Із залученням працівників на проєктні роботи, що вимагають не лише наявних компетентностей, а й відповідного рівня цих компетентностей, запропоновано використовувати показники характеристик персоналу за обраним функціоналом. На прикладі компанії з упровадження ІТ-систем запропоновано алгоритм формування проєктної команди з урахуванням значень функціональних компетентностей.

Наведено форми для формування складу проєктних команд відповідно до функціональних задач вимагають та мінімально допустимих рівнів показників характеристик кваліфікації для виконання цих задач. Побудовано матриці характеристик і показників трудових ресурсів для визначення можливостей залучення їх до складу проєктних команд як виконавців. Визначено алгоритм генерації учасників проєктних команд на основі вимог до задач проєкту та показників компетентності трудових ресурсів. Виконано прогноз показників імовірності залучення кожного окремого трудового ресурсу до складу проєктної команди для розроблення та впровадження інформаційних систем.

Висновки. З огляду на практичну реалізацію методу, зроблено висновок, що запропонований метод дозволяє не лише формувати проєктні команди, а і ставити перед керівництвом компанії задачі щодо підвищення кваліфікації працівників, чи пошуку нових трудових ресурсів із відповідною кваліфікацією.

Ключові слова: проєкт, трудовий ресурс, команда проєкту, компетентність, матриця компетентності.

Вступ

Розроблення та впровадження складних інформаційних систем часто ведуть колективи, що складаються з працівників різних відділів, підрозділів і навіть різних установ. Основним складником ІТ-проєктів, є персонал, що інтегрує та виконує всі процеси та задачі. Тому від ретельності та ґрунтовного підходу до формування проєктної команди зі створення та впровадження ІТ-системи напряму залежить успіх проєкту в цілому (Бушуєв, 2009).

Важливим фактором якісного впровадження ІТ-систем є ґрунтовний підхід до підбору персоналу, адже саме від складу проєктної команди, її особистісних характеристик і компетентностей, умінь співпрацювати та комунікувати залежить результат упровадження (Бушуєв та ін., 2020). Питанням управління персоналом у реалізації ІТ-проєктів досліджували такі науковці: А. Білощицький, С. Бушуєв, Д. Гогунський, О. Данченко, К. Колеснікова, М. Косенко, Д. Лук'янов, І. Чумаченко та ін.

Основними виконавцями проєкту з розроблення та впровадження інформаційних систем є учасники, що реалізують усю сукупність робіт від процесу ініціалізації до здачі та супроводу проєкту (Gladka, & Hladkyi, 2019). Тому саме учасники проєкту, є ключовим фактором реалізації проєкту відповідно до сформованого плану. До складу учасників проєкту можуть входити працівники не лише з різними функціональними обов'язками, ролями, що виконуються на проєкті, але й із різним рівнем знань: від junior до senior фахівців (Gladka et al. 2021). Відповідно до ролі, що покладається на учасника проєктної групи, складності як усього проєкту, так і окремих його задач, умов реалізації, висувають вимоги до складу учасників проєкту (Гладка, Бойко, & Гладкий, 2019).

Відповідальність за реалізацію проєкту несе проєктний менеджер, саме від його кваліфікації та коректності підбору персоналу залежить результативність проєкту в цілому (Kolesnikov et al., 2019). Важливо зазначити, що для реалізації окремого проєкту неможливо залучити фахівців лише найвищого рівня, оскільки персонал компанії має обмежену кількість фахівців усіх рівнів, і цих фахівців залучають на різні проєкти відповідно до їхньої зайнятості та професіоналізму. Кожен фахівець команди з розроблення та впровадження інформаційних систем може бути залучений відразу на декілька проєктів. Кількість таких залучень обмежується складністю проєкту: виконавець може бути залучений не більше ніж на 2 складні проєкти чи на 5 простих (Gladka et al., 2021). Тому головна задача керівника проєкту – оптимально підібрати членів проєктної команди, що здатна вчасно і в повному обсязі виконувати всі функціональні задачі проєкту у межах його бюджету (рис. 1). Для формування проєктної команди проєктний менеджер має постійно відслідковувати кваліфікацію та компетентності всіх учасників проєктної команди й інших зацікавлених у проєкті осіб (Xu, Kuchansky, & Gladka, 2021).

© Гладка Мирослава, Кучанський Олександр, Лісневський Ростислав, 2023

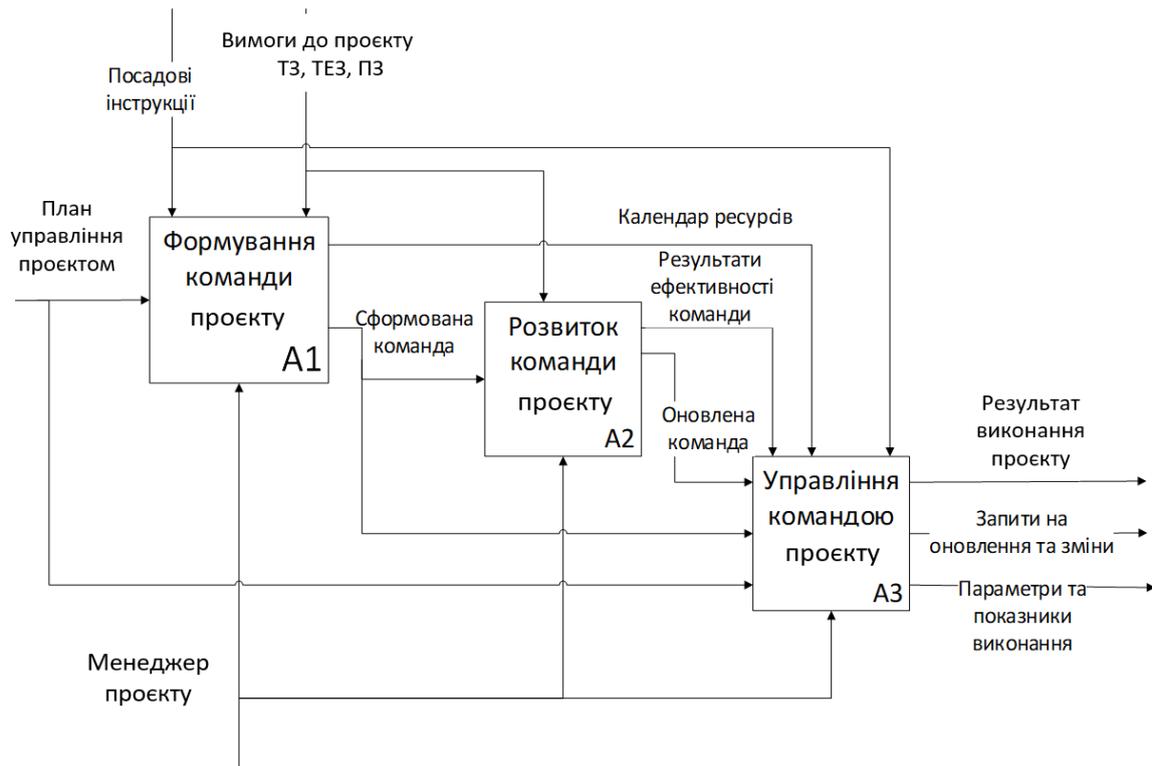


Рис. 1. Формування команди проекту для впровадження інформаційних систем

Усі компанії, що займаються розробленням і впровадженням інформаційних систем, для реалізації своєї діяльності можуть використовувати певні обмежені трудові ресурси із штатних працівників, працівників підрядних організацій і вільнонайманих працівників на проектні роботи. Тому задача формування команд для реалізації проектів з розроблення та впровадження інформаційних систем, що повністю відповідають вимогам до робіт у межах проекту, є актуальною (Бушуєва, & Бушуєв, 2017; Kuchansky et al., 2018).

Питання формування проектних команд за обмежених трудових ресурсів розглянуто в багатьох дослідженнях, де представлено спеціалізовані методи, моделі й алгоритми, що певним чином вирішують поставлені задачі (Білощицький et al., 2021; Гладка, 2021; Масленникова, & Колеснікова, 2013).

Для формування команд проекту з розроблення та впровадження інформаційних систем використаємо мультиагентний підхід, що забезпечує можливість переформатування команд відповідно до настання змін у параметрах і характеристиках трудових ресурсів, а також змін у вимогах до реалізації проекту, що можуть виникати у процесі його реалізації і не описані в технічному завданні або інших проектних документах (Іванов, & Решетняк, 2021). Задача побудови методу формування команд ІТ-проекту на основі аналізу матриці компетентності є актуальною і дозволяє підвищити ефективність діяльності компанії.

Постановка задачі формування команди ІТ-проекту. Планування залучення учасників до проектної команди полягає у визначенні термінів реалізації проекту; переліку функціональних задач, що реалізуються в межах проекту, послідовності їхнього виконання; вимогах до рівня кваліфікації виконавців, з урахуванням можливих варіантів вибору з обмеженого переліку трудових ресурсів, зокрема і зовнішніх (Biloshchytskyi et al., 2018). З огляду на обмеженість залучення виконавців враховують їхню зайнятість на інших проектах, період і час реалізації робіт над проектом, наявність суперечностей і неузгодженості у призначенні ресурсів на проектні роботи.

Обов'язковою вимогою для підбору членів проектної команди є відповідність вимогам кваліфікації, згідно з професійними стандартами (Постанова КМУ № 1341, 2011; Професійний стандарт, 2014а; Професійний стандарт, 2014b), які виставляють до задач проекту, котрі може виконувати трудовий ресурс.

У формуванні складу проектної команди для розроблення та впровадження інформаційних систем, необхідно враховувати непередбачувані ризики, що наявні в таких проектах (Gladka, & Hladkyi, 2020), та планувати резерви трудових ресурсів, що забезпечить можливість реалізації ІТ-проекту відповідно до розробленого плану (Morozov, & Kalnichenko, 2018; Gladka, & Хлобистова, 2013; Лісневський, Костіков, & Гладка, 2020). Кожен резерв має бути запланованим з урахуванням витрат на утримання, та втрат, що настануть у випадку відхилення сформованого плану. Компанії з розроблення та впровадження ІТ-систем, зазвичай, ведуть одночасно кілька проектів, ці проекти можуть перебувати на різних стадіях реалізації, бути схожими, чи абсолютно відмінними у реалізації функціональних вимог, проте для кожного з проектів неухильним правилом є чітка постановка задач із призначенням виконавців. Для таких задач необхідно правильно визначити пріоритетності та важливості ролей залучених учасників у кожному з проектів (Gladka et al., 2021). Підбір виконавців відповідно до поставлених задач із чітким розподілом між учасниками проектної групи забезпечить регламенте виконання проекту з розроблення та впровадження інформаційної системи (Гладка, 2021).

Методи

У розробленні та впровадженні інформаційних систем найпоширенішим методом розподілу робіт є виокремлення їх в окремі пули за функціональними ролями. Відповідно кожен трудовий ресурс у межах конкретного проекту може



виконувати від однієї функціональної ролі. Чим більше таких ролей виконує трудовий ресурс у межах проекту, тим більше задач у межах кожного пулу він може виконувати. Проте ключовим у виконанні задач, також є відповідний рівень компетентності: на реалізації задачі може бути призначений лише той виконавець, що має рівень компетентції не нижчий, ніж указаний у вимогах до задачі.

У технічному завданні на розроблення та впровадження інформаційних систем необхідно сформулювати вимоги до розподілу рівнів компетентцій, функції (завдання), що враховують як загальні вимоги до проекту, так і для окремої задачі в цьому проекті.

Визначення рівнів компетентності забезпечується автономністю й активністю окремих агентів і в окремо взятому проекті, і в портфелі проектів ІТ-компанії. Однак проекти з розроблення та впровадження інформаційних систем мають свої особливості реалізації, де різні функціональні задачі, які повинні вирішуватися для системи загалом, мають різні рівні пріоритетності та повинні забезпечуватися комунікативністю агентів.

Метод формування команд ІТ-проектів на основі аналізу матриці компетентностей. Проекти з розроблення та впровадження ІТ-систем можуть містити задачі різної функціональності, до них належать: задачі з аналітики, інжинірингу й оптимізації; написання програмного коду; впровадження та налагодження програмного продукту; синхронізації, розроблення й адаптації під потреби замовника; налагодження; навчання; тестування тощо. Тому перед формуванням команди проекту виконують деталізоване проектування функціональних задач, що будуть визначати хід реалізації проекту відповідно до визначених функцій проекту (Гладка, 2021).

Кожен із трудових ресурсів, що може бути залучений до виконання проектних робіт, як член проектної команди, володіє набором індивідуальних компетентностей, що відповідають функціональним параметрам задач, що будуть виконуватися в межах проекту (Kuchansky et al., 2018).

Відповідно для опису множин у формуванні проектних команд використовуємо такі позначення:

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ – множина виконавців, трудових ресурсів, де n – загальна кількість цих трудових ресурсів;

$F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ – множина функцій у проекті, де m – загальна кількість проектних функцій;

Для кожного трудового ресурсу представимо матрицю компетентцій K , що відображає набір характеристик виконавців за тими функціями, що передбачені в роботах реалізації проекту з розроблення та впровадження інформаційної системи (табл. 1).

Якщо i -й виконавець володіє компетенцією для реалізації функції f_j , то $k_{ij} = 1$, в іншому випадку $k_{ij} = 0$.

Таблиця 1

Матриця компетентцій K

$A \backslash F$	f_1	f_2	...	f_j	...	f_m
a_1	k_{11}	k_{12}	...	k_{1j}	...	k_{1m}
a_2	k_{21}	k_{22}	...	k_{2j}	...	k_{2m}
...
a_i	k_{i1}	k_{i2}	...	k_{ij}	...	k_{im}
...
a_n	k_{n1}	k_{n2}	...	k_{nj}	...	k_{nm}

Матриця характеристик R вказує на індивідуальні параметри кожного з виконавців за тими функціями, які він може реалізувати (табл. 2). Показники таблиці 2 визначають за результатами атестації (Гладка, 2021) та включають показники кваліфікації, рівня компетентції, якості реалізації задач, дотримання термінів виконання тощо. Значення r_{ij} вказує на значення характеристики i -го виконавця при реалізації j -ї функції, $r_{ij} = 0$, якщо i -й виконавець не може виконувати j -ту функцію, інакше $r_{ij} =$ від 1 до 5 залежно від рівня кваліфікації за заданою функцією. Для зміни точності можна використовувати різні шкали (10-бальна шкала, 100-бальна шкала тощо), у такому разі дані необхідно нормувати відповідним чином.

Таблиця 2

Матриця характеристик R

$A \backslash F$	f_1	f_2	...	f_j	...	f_m
a_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1j}	...	r_{1m}
a_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2j}	...	r_{2m}
...
a_i	r_{i1}	r_{i2}	...	r_{ij}	...	r_{im}
...
a_n	r_{n1}	r_{n2}	...	r_{nj}	...	r_{nm}

Для визначення конкретного трудового ресурсу, що буде виконавцем певної проектної задачі, формують множину варіантів розподілу функцій між виконавцями в команді проекту, які описують матрицею H (табл. 3). Якщо i -й трудовий ресурс виконує у проекті функцію f_j , то $h_{ij} = 1$, в іншому випадку $h_{ij} = 0$.



Таблиця 3

Матриця розподілу функцій у проєктній команді H

$A \backslash F$	f_1	f_2	...	f_j	...	f_m
a_1	h_{11}	h_{12}	...	h_{1j}	...	h_{1m}
a_2	h_{21}	h_{22}	...	h_{2j}	...	h_{2m}
...
a_i	h_{i1}	h_{i2}	...	h_{ij}	...	h_{im}
...
a_n	h_{n1}	h_{n2}	...	h_{nj}	...	h_{nm}

Результат відбору трудових ресурсів у команду проєкту з розроблення та впровадження інформаційної системи описують за допомогою множини $P^* = \{p_1, \dots, p_n\}$, де

$$p_i = \sum_{j=1}^m p_{ij}; i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Якщо значення $p_i > 0, i=1, \dots, n$, це означає, що i -й виконавець може бути членом проєктної команди, а показник p_i вказує на кількість функціональних задач, що можуть виконуватись ним у команді.

Загальну кількість трудових ресурсів (b), що входять у команду проєкту як виконавці, визначають так:

$$b = \sum_{j=1}^n \text{sgn}(p_i). \quad (2)$$

Результати

Розглянемо підбір виконавців для розроблення та впровадження ІТ-рішення з розроблення та впровадження CRM-системи (Gladka, Lisnevskiy, & Kostikov, 2020), коли маємо 15 працівників, що оперують 13 компетенціями та характеристиками на базі матриць компетенцій і характеристик проєктної команди (табл. 4, 5). Показники компетенцій були сформовані на основі аналізу учасників проєктної команди компанії ТОВ "Інформаційні технології України" (Гладка, 2021), що реалізують процес інтеграції та впровадження ІТ-рішень.

Таблиця 4

Матриця компетенцій K працівників

$A \backslash F$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
2	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1
3	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
7	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
8	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1
9	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1
11	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
12	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
13	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
14	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
15	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0

Таблиця 5

Матриця характеристик R працівників

$A \backslash F$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	4	4	0
2	0	0	0	4	5	0	1	0	0	2	0	0	1
3	0	0	0	5	2	0	0	1	0	0	0	4	0
4	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	4	0	5
5	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	4	0
6	2	0	0	0	0	0	0	0	4	5	0	5	4
7	2	4	5	0	5	0	0	3	5	2	0	2	3
8	1	0	0	0	4	0	1	0	0	3	2	0	5



Закінчення табл. 5

$F \backslash A$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	3	0	5	5	4	1	0	0	1	1	5	0	5
10	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	5	4
11	1	0	5	0	0	5	0	0	2	0	0	0	5
12	0	2	0	0	4	0	0	0	3	0	1	0	0
13	4	0	4	0	0	0	0	0	5	3	0	0	0
14	0	0	0	2	0	5	4	0	3	0	0	4	0
15	0	0	0	3	0	0	4	1	0	0	0	3	0

Для визначення виконавців, що можуть виконати j -ту функцію $F(A, j)$ за наявності всіх можливих працівників $j = 1, \dots, m$, скористаємося формулами:

$$\begin{aligned}
 F(A, 1) &= (k_5^1 \vee k_9^1 \vee k_{11}^1 \vee k_{12}^1); \\
 F(A, 2) &= (k_4^2 \vee k_5^2 \vee k_7^2 \vee k_{10}^2 \vee k_{13}^2); \\
 F(A, 3) &= (k_4^3 \vee k_5^3 \vee k_8^3 \vee k_{12}^3); \\
 F(A, 4) &= (k_7^4 \vee k_8^4 \vee k_{11}^4 \vee k_{13}^4); \\
 F(A, 5) &= (k_8^5 \vee k_9^5 \vee k_{12}^5); \\
 F(A, 6) &= (k_1^6 \vee k_9^6 \vee k_{10}^6 \vee k_{12}^6 \vee k_{13}^6); \\
 F(A, 7) &= (k_1^7 \vee k_2^7 \vee k_3^7 \vee k_5^7 \vee k_7^7 \vee k_9^7 \vee k_{10}^7 \vee k_{12}^7 \vee k_{13}^7); \\
 F(A, 8) &= (k_1^8 \vee k_5^8 \vee k_7^8 \vee k_{10}^8 \vee k_{11}^8 \vee k_{13}^8); \\
 F(A, 9) &= (k_1^9 \vee k_3^9 \vee k_4^9 \vee k_5^9 \vee k_6^9 \vee k_9^9 \vee k_{10}^9 \vee k_{11}^9 \vee k_{13}^9); \\
 F(A, 10) &= (k_5^{10} \vee k_{10}^{10} \vee k_{12}^{10} \vee k_{13}^{10}); \\
 F(A, 11) &= (k_1^{11} \vee k_3^{11} \vee k_6^{11} \vee k_9^{11} \vee k_{13}^{11}); \\
 F(A, 12) &= (k_2^{12} \vee k_5^{12} \vee k_9^{12} \vee k_{11}^{12}); \\
 F(A, 13) &= (k_1^{13} \vee k_3^{13} \vee k_9^{13} \vee k_{10}^{13}); \\
 F(A, 14) &= (k_4^{14} \vee k_6^{14} \vee k_7^{14} \vee k_9^{14} \vee k_{12}^{14}); \\
 F(A, 15) &= (k_4^{15} \vee k_7^{15} \vee k_{15}^{15} \vee k_{12}^{15}).
 \end{aligned}$$

Отже кожен із представлених трудових ресурсів може виконувати певний набір функцій на певному рівні. Відобразимо графічно (рис. 2) набори значень характеристик кожного з 15 трудових ресурсів відповідно до визначених у проєкті функціональних задач (13 видів).

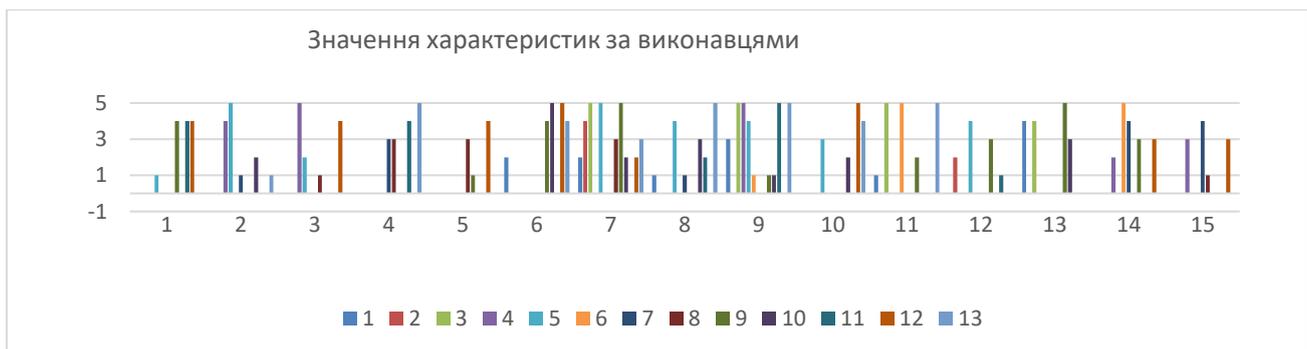


Рис. 2. Значення характеристик 15 трудових ресурсів за 13 функціями

Накладаючи обмеження на мінімально допустимий рівень кваліфікації виконавця для залучення до реалізації задачі, можна відобразити представлення характеристик за функціями (рис. 3). Відповідно у разі накладання певного мінімального рівня допуску за характеристикою по конкретній функції будуть враховані лише ті трудові ресурси, що досягли вказаного значення.

Залучення кожного з трудових ресурсів у команду проєкту з розроблення та впровадження інформаційних систем представлятиме групу виконавців, що володіють набором характеристик, які можуть перекриватись (Bouko, Shumuyhai, & Gladka, 2016). За підбору членів проєктної команди необхідно об'єднати ті характеристики, якими володіють кілька трудових ресурсів. Обов'язковою умовою формування команди є наявність хоча б одного виконавця, що виконує кожен функцію. Для таких обмежень відразу накладають умови мінімального допуску до реалізації функції.

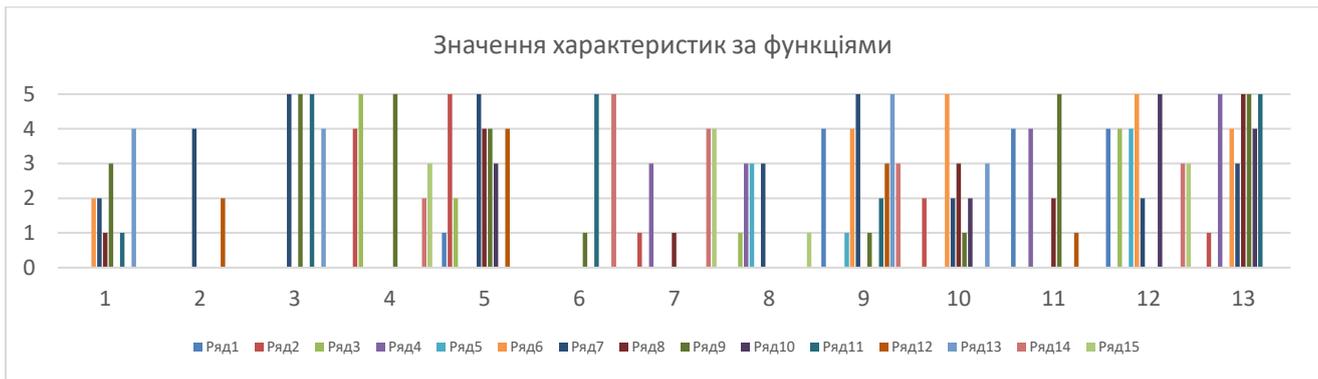


Рис. 3. Значення характеристик 15 трудових ресурсів за 13 функціями

Накладемо такі обмеження: для реалізації проєкту функції 5, 10, 13 вимагають показника характеристики не менше 2, функції 3, 9 – показника не менше 3, функції 12 – показника не менше 4. Такі обмеження визначають, що певний тип задачі конкретного проєкту вимагає особливих умов кваліфікації виконавця. Також можуть бути накладені умови на весь проєкт загалом, – коли вимоги до реалізації підвищуються, тоді вимоги до всіх проєктних задач теж будуть підвищені.

Сформуємо набори можливих варіантів підбору проєктних команд, коли виконавцем функціональної задачі проєкту можуть бути ті трудові ресурси, що мають певний рівень показника характеристики. У цьому випадку кілька виконавців із рівнями компетентності, що відповідають вимогам до розв'язання функціональної задачі, можуть бути альтернативними тим виконавцям, що беруть участь у призначенні виконавців.

Варіант 1

$$\chi(k_1^9 \vee k_3^9 \vee k_4^9 \vee k_5^9 \vee k_6^9 \vee k_{11}^9 \vee k_{13}^9) \chi(k_4^{14} \vee k_6^{14} \vee k_7^{14} \vee k_9^{14} \vee k_{12}^{14}) = k_1^{7|9} \vee k_2^7 \vee k_3^{7|9} \vee k_4^{9|14} \vee k_5^{7|9} \vee k_6^{9|14} \vee k_7^{14} \vee k_8^7 \vee k_9^{7|14} \vee k_{10}^9 \vee k_{11}^9 \vee k_{12}^{14} \vee k_{13}^{7|9}.$$

Варіант 2

$$F(A,4) \chi F(A,6) \chi F(A,9) \chi F(A,12) = (k_7^4 \vee k_8^4 \vee k_{11}^4 \vee k_{13}^4) \chi(k_1^6 \vee k_9^6 \vee k_{10}^6 \vee k_{12}^6 \vee k_{13}^6) \chi(k_1^9 \vee k_3^9 \vee k_4^9 \vee k_5^9 \vee k_6^9 \vee k_{11}^9 \vee k_{13}^9) \chi(k_2^{12} \vee k_5^{12} \vee k_9^{12}) = k_1^{6|9} \vee k_2^{12} \vee k_3^9 \vee k_4^9 \vee k_5^{9|12} \vee k_6^9 \vee k_7^4 \vee k_8^4 \vee k_9^{6|12} \vee k_{10}^6 \vee k_{11}^{4|9} \vee k_{12}^6 \vee k_{13}^{4|9}.$$

Варіант 3

$$F(A,1) \chi F(A,2) \chi F(A,7) \chi F(A,9) = (k_5^1 \vee k_9^1 \vee k_{11}^1 \vee k_{12}^1) \chi(k_4^2 \vee k_5^2 \vee k_7^2 \vee k_{10}^2 \vee k_{13}^2) \chi(k_1^7 \vee k_2^7 \vee k_3^7 \vee k_5^7 \vee k_8^7 \vee k_9^7 \vee k_{10}^7 \vee k_{13}^7) \chi(k_1^9 \vee k_3^9 \vee k_4^9 \vee k_5^9 \vee k_6^9 \vee k_{11}^9 \vee k_{13}^9) = k_1^{7|9} \vee k_2^7 \vee k_3^{7|9} \vee k_4^{2|9} \vee k_5^{7|9} \vee k_6^9 \vee k_7^1 \vee k_8^7 \vee k_9^{1|7} \vee k_{10}^{2|7} \vee k_{11}^{9|9} \vee k_{12}^1 \vee k_{13}^{7|9}.$$

Варіант m

$$F(A,1) \chi F(A,2) \chi F(A,6) \chi F(A,7) \chi F(A,11) = (k_9^1 \vee k_{11}^1 \vee k_{12}^1) \chi(k_4^2 \vee k_5^2 \vee k_7^2 \vee k_{10}^2) \chi(k_1^6 \vee k_9^6 \vee k_{10}^6 \vee k_{12}^6 \vee k_{13}^6) \chi(k_1^7 \vee k_2^7 \vee k_3^7 \vee k_5^7 \vee k_8^7 \vee k_9^7 \vee k_{10}^7 \vee k_{13}^7) \chi(k_1^{11} \vee k_3^{11} \vee k_6^{11} \vee k_{13}^{11}) = (k_1^{6|11} \vee k_2^7 \vee k_3^{7|11} \vee k_4^2 \vee k_5^{2|7} \vee k_6^{11} \vee k_7^2 \vee k_8^7 \vee k_9^{1|6|7} \vee k_{10}^{2|6|7} \vee k_{11}^1 \vee k_{12}^{1|6} \vee k_{13}^{6|7|11}).$$

Варіант n

$$F(A,1) \chi F(A,2) \chi F(A,3) \chi F(A,4) \chi F(A,5) \chi F(A,6) \chi F(A,7) \chi F(A,8) \chi F(A,9) \chi F(A,10) \chi F(A,11) \chi F(A,12) \chi F(A,13) \chi F(A,14) \chi F(A,15) = (k_1^9 \vee k_{11}^9 \vee k_{12}^9) \chi(k_4^2 \vee k_5^2 \vee k_7^2 \vee k_{10}^2) \chi(k_3^3 \vee k_5^3 \vee k_8^3 \vee k_{12}^3) \chi(k_7^4 \vee k_8^4 \vee k_{11}^4 \vee k_{13}^4) \chi(k_8^5 \vee k_{12}^5) \chi(k_1^6 \vee k_9^6 \vee k_{10}^6 \vee k_{12}^6 \vee k_{13}^6) \chi(k_1^7 \vee k_2^7 \vee k_3^7 \vee k_5^7 \vee k_8^7 \vee k_9^7 \vee k_{10}^7 \vee k_{13}^7) \chi(k_1^8 \vee k_5^8 \vee k_8^8 \vee k_{10}^8 \vee k_{11}^8 \vee k_{13}^8) \chi(k_1^9 \vee k_3^9 \vee k_4^9 \vee k_5^9 \vee k_6^9 \vee k_{11}^9 \vee k_{13}^9) \chi(k_1^{10} \vee k_{10}^{10} \vee k_{12}^{10} \vee k_{13}^{10}) \chi(k_1^{11} \vee k_3^{11} \vee k_6^{11} \vee k_{13}^{11}) \chi(k_2^{12} \vee k_5^{12} \vee k_9^{12}) \chi(k_1^{13} \vee k_3^{13} \vee k_9^{13} \vee k_{13}^{13}) \chi(k_4^{14} \vee k_6^{14} \vee k_7^{14} \vee k_9^{14} \vee k_{12}^{14}) \chi(k_4^{15} \vee k_7^{15} \vee k_{18}^{15}) = (k_1^{6|7|8|9|11|13} \vee k_2^{7|12} \vee k_3^{7|9|11|13} \vee k_4^{2|3|9|14|15} \vee k_5^{2|3|7|8|9|11|14} \vee k_6^{9|11|14} \vee k_7^{1|2|4|8|14|15} \vee k_8^{3|4|5|7|15} \vee k_9^{1|6|7|12|13|14} \vee k_{11}^{1|4|8|9|12} \vee k_{12}^{1|3|5|6|10|14} \vee k_{13}^{4|6|7|8|9|10|11}).$$



У створенні можливих наборів членів проектних команд для проектів із розроблення та впровадження інформаційних систем згенеровано набори від 3 до 15 виконавців. Тобто для охоплення всіх функціональних задач мінімальний штат команди має налічувати 3 особи, що повною мірою закриває всі 13 функціональних завдань на відповідному кваліфікаційному рівні. Тобто виконуються такі умови, коли всі члени проектної команди можуть виконати всі задачі з виставленими параметрами та характеристиками відповідно до їхніх компетентностей у цих задачах – хоча б один член команди володіє необхідними навиками для виконання кожної задачі. Відповідно за збільшення кількості виконавців у проєкті, збільшується кількість варіантів залучення конкретного виконавця до певної задачі. Задачі за певними характеристиками можуть бути розподілені між тими учасниками, що мають відповідний рівень кваліфікації.

Якщо одну функціональну задачу може виконувати кілька учасників проектної команди, то зростає кількість варіантів для визначення ймовірного виконавця.

У процесі трансформації карти характеристик у марковський ланцюг з відображенням якісних оцінок характеристик компетентності представлених членів проектної команди створимо багатовекторну картину стану виконання проектних функцій з урахуванням параметрів прогнозування. Завдяки таким представленням реалізується можливість відслідковування залучення трудових ресурсів у межах усіх проектів, що реалізуються на підприємстві. Адже важливим фактором залучення трудових ресурсів до реалізації ІТ-проектів, є умова паралельного ведення кількох проектів, що обмежується визначеною кількістю та роллю у проєкті, залежно від його складності.

Матрицю умовних імовірностей для марковського ланцюга на основі характеристик виконавців (табл. 4.) представимо у такому вигляді (Колеснікова et al., 2017):

$$\begin{aligned}
 \|f_{ij}\| = & \begin{pmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & f_{15} & 0 & 0 & 0 & f_{19} & 0 & f_{111} & f_{112} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & f_{24} & f_{25} & 0 & f_{27} & 0 & 0 & f_{210} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & f_{34} & f_{35} & 0 & 0 & f_{38} & 0 & 0 & 0 & f_{312} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{47} & f_{48} & 0 & 0 & f_{411} & 0 & f_{413} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{58} & 0 & 0 & 0 & f_{512} & 0 \\
 f_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{69} & f_{610} & 0 & f_{612} & f_{613} \\
 f_{71} & f_{72} & f_{73} & 0 & f_{75} & 0 & 0 & f_{78} & f_{79} & f_{710} & 0 & 0 & f_{713} \\
 f_{81} & 0 & 0 & 0 & f_{85} & 0 & f_{87} & 0 & 0 & f_{810} & f_{811} & 0 & f_{813} \\
 f_{91} & 0 & f_{93} & f_{94} & f_{95} & f_{96} & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{911} & 0 & f_{913} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & f_{105} & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{1010} & 0 & f_{1012} & f_{1013} \\
 f_{111} & 0 & f_{113} & 0 & 0 & f_{116} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{1113} \\
 0 & f_{122} & 0 & 0 & f_{125} & 0 & 0 & 0 & f_{129} & 0 & f_{1211} & 0 & 0 \\
 f_{131} & 0 & f_{133} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{139} & f_{1310} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & f_{144} & 0 & f_{146} & f_{147} & 0 & f_{149} & 0 & 0 & f_{1412} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & f_{154} & 0 & 0 & f_{157} & f_{158} & 0 & 0 & 0 & f_{1512} & 0
 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Значення перехідних імовірностей f_{ij} розраховуємо експертними методами (Гнатієнко, & Снитюк, 2008):

0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	4,0	3,0	0,0
0,0	0,0	0,0	1,0	8,0	0,0	3,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	9,0	2,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	7,0	0,0	0,0	3,0	0,0	9,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	0,0	8,0	4,0
4,0	7,0	7,0	0,0	7,0	0,0	0,0	6,0	7,0	4,0	0,0	1,0	4,0
1,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0	3,0	0,0	9,0
1,0	0,0	8,0	8,0	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	9,0
0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	9,0	3,0
2,0	0,0	9,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0
0,0	2,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	5,0	0,0	0,0
7,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	1,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	9,0	8,0	0,0	5,0	0,0	0,0	1,0	0,0
0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	6,0	2,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0

Для визначених функціональних задач ІТ-проекту, що обумовлюють його реалізацію, формуємо значення матриці перехідних імовірностей за даними кваліфікаційних характеристик кожного окремого трудового ресурсу, що виступає як член проектної команди. За даними значеннями виконують розподіл задач між виконавцями відповідно до ймовірності станів $f_{1k}, f_{2k}, \dots, f_{15k}$ після будь-якого k -го кроку.



За результатами моделювання станів системи для представленої матриці умовних перехідних ймовірностей побудуємо графік зміни ймовірностей підбору виконавців задач у проєкті (рис. 4.) (Gladka, Xu, & Kuchansky, 2021).

Указаний графік візуалізує максимальні показники залучення кожного виконавця для проєктної команди, що складається з максимальної кількості учасників – трудових ресурсів підприємства. Відповідно за вибору іншої проєктної команди таке представлення буде змінено.

Висновки

Для формування проєктних команд для розроблення та впровадження ІТ-систем важливим фактором є підбір виконавців за індивідуальними показниками компетентності та характеристиками, що відповідають функціональним задачам проєкту. Запропоновано метод формування команди ІТ-проєкту на основі аналізу матриці компетентностей. За представленими результатами аналізу ймовірності станів виконання функціональних характеристик виконавців отримуємо прогнозування й оцінюємо результативність виконання проєктів. Зокрема і за даними рис. 4 за рівнями компетентності виконавців та кількості виконавців, що мають компетенції щодо виконання задач проєкту, отримуємо найвищі результати кваліфікації та можливість альтернативного вибору серед виконавців у таких функціях: 4, 8, 12, 13. Водночас задачі реалізації проєкту функції 2, 6, 11 будуть найскладнішими для реалізації, оскільки маємо найменшу кваліфікацію членів проєктної команди за даною функцією, та найменшу кількість членів проєктної команди, що можуть бути призначені на виконання робіт за даним функціоналом.

Відповідно до створеної моделі за даними параметрами та характеристиками підібрано команду проєкту для впровадження CRM-системи в компанії аграрного сектору з наявного штату проєктної команди ТОВ "Інформаційні технології України". За результатами виконання проєкту відмічено позитивну роботу сформованої команди, що характеризується динамікою реалізації проєкту (Гладка, 2021).

Такий аналіз дозволяє не лише формувати проєктні команди, а і ставить задачі перед керівництвом щодо підвищення кваліфікації своїх працівників чи пошуку нових трудових ресурсів із відповідною кваліфікацією, оскільки саме під час підбору виявляємо критичні місця й обмежені ресурси, що заважають масштабувати проєкти чи вимагають залучення виконавців з особливими параметрами кваліфікації.

Внесок авторів: Мирослава Гладка – огляд літературних джерел і написання висновків; Олександр Кучанський – розроблення методів і методології дослідження, опис результатів; Ростислав Лісневський – збір емпіричних даних і проведення емпіричних досліджень.

Список використаних джерел

- Білощицький, А. О., Кучанський, О. Ю., Андрашко, Ю. В., Білощицька, С. В., & Гладка, М. В. (2021). *Методи оцінювання продуктивності суб'єктів наукової діяльності*. Компрінт.
- Бушуев, С. Д. (Ed.) (2009). *Керівництво з управління інноваційними проєктами та програмами P2M: перекл. з англ.* Науковий світ.
- Бушуев, С. Д., Бушуев, Д. А., Молоканова, В. М., & Козир Б. Ю. (2020). Інформаційно-комунікаційні технології формування проєктних компетентностей публічних службовців. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 80(6), 309–325.
- Бушуева, С. Д., & Бушуев, Д. А. (2017). Основи індивідуальних компетентностей для управління проєктами, програмами і портфелями. *National Competence Baseline, NCB Version 4.0. Т. 1. Управління портфелями проєктів*. Самміт-Книга.
- Гладка, М. В. (2021). *Моделі та методи мультиагентного розподілу трудових ресурсів в ІТ проєктах в умовах невизначеності* [Рукопис кандидатської дисертації]. Національний транспортний університет.
- Гладка, М. В., & Хлобистова, О. А. (2013). Розробка плану проєктних робіт. *Східно-Європейський журнал передових технологій. Інформаційні технології*. Харків: Технологічний центр, 3/2(63), 34–38.
- Гладка, М. В., Бойко, Р. О., & Гладкий, Я. В. (2019). Оцінювання бізнес-процесів підприємств з використанням методу функціонально-вартісного аналізу ABC. *Наук. пр. Нац. ун-ту харчових технологій*. Національний університет харчових технологій, 25 (1), 7–15.
- Гладка, М. В., Кучанський, О. Ю., & Лісневський, Р. В. (2021). Формування команд для реалізації ІТ-проєктів на основі моделі обмеженої раціональності. *Управління розвитком складних систем*, (48), 17–23. doi:10.32347/2412-9933.2021.48.17-23
- Гнатієнко, Г. М., & Снитюк, В. Є. (2008). *Експертні технології прийняття рішень*. McLaut.
- Іванов, С. В., & Решетняк, П. Г. (2014). Проєктування систем управління людськими ресурсами. <http://dspace.nbu.gov.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/93373/52-Ivanov.pdf?sequence=1>
- Колеснікова, К. В., Бондар, В. І., Москалюк, А. Ю., & Яковенко, В. О. (2017). Розробка моделі ініціації проєктів у формі ланцюга Маркова. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами*, 2(1224), 29–34. doi: 10.20998/2413-3000.2017.1224.5
- Лісневський, Р. В., & Кізяк, Я. О. (2020, 26 листопада). Використання методу багатокритеріального вибору в системах підтримки проєктних рішень 2020. *Матеріали VII Міжнар. наук.-техн. Інтернет-конф. "Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами"* (р. 311). Національний університет харчових технологій.
- Лісневський, Р. В., Костіков, М. П., & Гладка, М. В. (2020). Аналіз інтеграції програмних інструментаріїв ведення проєктів щодо можливості їх використання для потреб Збройних Сил України. *НУОУ: зб. наук. пр. ЦВСД НУО України*, 3(70), 107–112. <http://znp-cvsd.nuou.org.ua/article/view/224007>
- Масленикова, Е. С., & Колеснікова, К. В. (2013). Складники поведінкової компетенції учасників команди проєкту на засадах компетентнісного підходу. *Управління розвитком складних систем*, (10), 48–51.
- Постанова КМУ № 1341. (2011, 23.11.2011). *Про затвердження Національної рамки кваліфікацій*.
- Професійний стандарт. (2014). *Фахівець з інформаційних систем*. <http://mon.gov.ua/content/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2016/03/15/5-ps-spes-infosystems-13.12.2014.pdf>
- Професійний стандарт. (2014). *Фахівець з розробки програмного забезпечення*. <http://mon.gov.ua/content/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2016/03/15/6-ps-rozrobnik-pz-13.12.2014.pdf>
- Biloshchyskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., & Gladka, M. (2022). Impact of Gender on Publication Productivity and Scientific Collaboration. *2022 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) Astana IT University*. 1–6. doi: 10.1109/SIST54437.2022.9945745
- Biloshchyskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Omirbaev, S., Mukhatayev, A., Faizullin, A., & Toxanov, S. (2021). Development of the Set Models and a Method to Form Information Spaces of Scientific Activity Subjects for the Steady Development of Higher Education Establishments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/2 (111), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233655>
- Biloshchyskyi, A., Kuchansky, A., Pally, S., Biloshchyska, S., Bronin, S., Andrashko, Y., Shabala, Y., & Vatskel V. (2018). Development of technical component of the methodology for project vector management of educational environments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(2(92)), 4–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126301>
- Boyko, R., Shumyhai, D., & Gladka, M. (2016, May 20–21). Concept, Definition and Use of an Agent in the Multi-Agent Information Management Systems at the Objects of Various Nature. Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. *Proceedings of the International Conference SCIT*. Warsaw (p. 59–63). doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0>
- Gladka M., Lisnevskiy, R., & Kostikov M. (2020, December 04). Using the Internet of Things When Introducing CRM Systems in the Banking Sector. *Information Technology and Interactions (Satellite). Conference Proceedings* (p. 335–338). Taras Shevchenko National University of Kyiv. Stylus.
- Gladka M., Xu, H. & Kuchansky, A. (2021). Devising an Individually Oriented Method for Selection of Scientific Activity Subjects for Implementing Scientific Projects Based on Scientometric Analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3(114)), 93–100.



Gladka, M., & Hladkyi, Y. (2019, November 20). Use Taboo Search to Assign Artists to Project Work. *Proceedings of the VI International Scientific and Technical Internet-Conference, Modern Methods, Information, Software and Technical Support of Management Systems of Organizational, Technical and Technological Complexes* (p. 234). National University of Food Technologies.

Gladka, M., & Hladkyi, Y. (2020, April 2–3). Reducing the Risks of Completing Tasks in IT Projects Through Personalized Distribution Among Participants. 86th International scientific conference of young scientist and students, *Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution*. Book of abstract. P. 1 (p. 387). National University of Food Technologies.

Gladka, M., Kravchenko, O., Hladkyi, Y., & Borashova, S. (2021, April 28–30). Qualification and Appointment of Staff for Project Work in Implementing IT Systems under Conditions of Uncertainty. *IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies*. C. Astana IT University. doi: 10.1109/SIST50301.2021.9465897

Hladkyi, Y., Gladka, M., Kostikov, M., & Lisnevskiy, R. (2021). An IoT Solution: A Fitness Trainer. *CEUR Workshop Proceedings*, (3179), 215–226.

Kolesnikov, O., Kolesnikova, K., Lukianov, D., & Sherstyuk, O. (2019). Project Manager Job Description as One of Project Management Key Success Factors. *Herald of Advanced Information Technology*, 2(3), 215–228. doi: 10.15276/HAIT.03.2019.5

Kuchansky, A., Biloshchytyskiy, A., Andrashko, Y., Biloshchytyska, S., Shabala, Y., & Myronov, O. (2018). Development of Adaptive Combined Models for Predicting Time Series Based on Similarity Identification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(4), 32–42.

Kuchansky, A., Biloshchytyskiy, A., Andrashko, Yu., Biloshchytyska, S., Shabala, Ye., & Myronov, O. (2018). Development of Adaptive Combined Models for Predicting TIME Series Based on Similarity Identification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(91), 32–42. doi:10.15587/1729-4061.2018.121620

Laptiev, O., Savchenko, V., Pravdyvyi, A., Ablazov, I., Lisnevskiy, R., Kolos, O., & Hudyma, V. (2021). Method of Detecting Radio Signals Using Means of Covert by Obtaining Information on the Basis of Random Signals Model. *International Journal of Communication Networks and Information Security*, 13 (1), 48–54.

Lizunov, P., Biloshchytyskiy, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Biloshchytyska, S., & Serbin, O. (2021). Development of the Combined Method of Identification of near Duplicates in Electronic Scientific Works. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(4), 112.

Morozov, V., & Kalnichenko, O. (2018). Construction of an Integrated Model of Management Processes of IT Projects on the Basis of a Proactive Approach. In *Monograph Modern Management: Economy and Administration* (p. 82–89). The Academy of Management and Administration in Opole.

Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (6th ed.). PMBOK® Guide.

Xu, H., Kuchansky, A., & Gladka, M. (2021). Development of Individually-oriented Method of Selection of Scientific Activity Subjects for Scientific Projects Implementation Based on Scientometric Analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3(114)), 93–100. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.248040>

References

Biloshchytyskiy, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., & Gladka, M. (2022). Impact of Gender on Publication Productivity and Scientific Collaboration. *2022 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) Astana IT University*. 1–6. doi: 10.1109/SIST54437.2022.9945745

Biloshchytyskiy, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Biloshchytyska, S., & Gladka M. (2021). *Productivity assessment methods of scientific activity subjects*. Comprint [in Ukrainian].

Biloshchytyskiy, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Omirbaev, S., Mukhatayev A., Faizullin, A., & Toxanov, S. (2021). Development of the Set Models and a Method to Form Information Spaces of Scientific Activity Subjects for the Steady Development of Higher Education Establishments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/2 (111), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233655>

Biloshchytyskiy, A., Kuchansky, A., Paliy, S., Biloshchytyska, S., Bronin, S., Andrashko, Y., Shabala, Y., & Vatskel V. (2018). Development of Technical Component of the Methodology for Project Vector Management of Educational Environments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(2(92)), 4–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126301>

Boyko, R., Shumyhai, D., & Gladka, M. (2016, May 20–21). Concept, Definition and Use of an Agent in the Multi-agent Information Management Systems at the Objects of Various Nature. Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. *Proceedings of the International Conference SCIT*. Warsaw (p. 59–63). doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0>

Bushuev, S. D. (Ed.) (2009). *Manual of P2M Innovative Projects and Programs Management*. Naukoviy Svit [in Ukrainian].

Bushuev, S. D., & Bushuev, D. A. (2017). Individual Competences Foundations for Project Programs and Portfolio Management. *National Competence Baseline, NCB Version 4.0, (1). Project Portfolio Management*. Summit-Book [in Ukrainian].

Bushuev, S. D., Bushuev, D. A., Molokanova, V. M., & Kozyr, B. Yu. (2020). Information-communication Technologies for Forming Projecting Competences of Public Servants. *Information Technologies and Studying Means*, 80 (6), 309–325 [in Ukrainian].

Decree of UKoFM № 1341. (2011, November, 23). *On Adoption of National Qualification Framework* [in Ukrainian].

Gladka M., & Hladkyi Y. (2020, April 2–3). Reducing the Risks of Completing Tasks in IT Projects Through Personalized Distribution Among Participants. 86th International Scientific Conference of Young Scientist and Students "Youth Scientific Achievements to the 21st Century Nutrition Problem Solution". Book of abstract. Part 1 (387). National University of Food Technologies.

Gladka M., & Kholobystova, O.A. (2013). Development of the Project Work Plan. *Eastern-European Journal of Advanced Technologies. Information Technologies*. Kharkiv: Technological Center, 3/2(63), 34–38 [in Ukrainian].

Gladka, M. (2021). Models and Methods of Multi-Agent Labor Resources Distribution in IT Projects in Uncertainty Conditions [PhD Thesis]. National Transport University [in Ukrainian].

Gladka, M., & Hladkyi, Y. (2019). Use Taboo Search to Assign Artists to Project Work. *Proceedings of the VI International Scientific and Technical Internet-Conference "Modern Methods, Information, Software and Technical Support of Management Systems of Organizational, Technical and Technological Complexes"*, November 20 (p. 234). Kyiv: NUFT.

Gladka, M., Boyko, R.O., & Hladkyi, Y. (2019). Enterprises Business-Processes Assessment using Functional Cost Analysis Method ABC. *Proceedings of the National University of Food Technologies*. National University of Food Technologies, 25 (1), 7–15 [in Ukrainian].

Gladka, M., Kravchenko, O., Hladkyi, Y., & Borashova, S. (2021, April 28–30). Qualification and Appointment of Staff for Project Work in Implementing IT Systems under Conditions of Uncertainty. *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies*. Astana IT University. doi: 10.1109/SIST50301.2021.9465897

Gladka, M., Kuchansky, A., & Lisnevskiy, R. (2021). Team Formation for IT Projects Implementation on the Basis of the Limited Rationality Model. *Complex Systems Development Management*, (4)8, 17–23. doi:10.32347/2412-9933.2021.48. 17–23 [in Ukrainian].

Gladka, M., Lisnevskiy, R., & Kostikov, M. (2020, December 04). Using the Internet of Things When Introducing CRM Systems in the Banking Sector. *Information Technology and Interactions (Satellite). Conference Proceedings* (p. 335–338). Taras Shevchenko National University of Kyiv. Stylus.

Gladka, M., Xu, H. & Kuchansky, A. (2021). Devising an Individually Oriented Method for Selection of Scientific Activity Subjects for Implementing Scientific Projects Based on Scientometric Analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3(114)), 93–100.

Gnatienko, G. M., & Snytyuk, V. E. (2008). *Expert Technologies of Decision Making*. McLaut [in Ukrainian].

Hladkyi, Y., Gladka, M., Kostikov, M., & Lisnevskiy, R. (2021). An IoT Solution: A Fitness Trainer. *CEUR Workshop Proceedings*, (3179), 215–226.

Ivanov, S. V., & Reshetnyak, P. G. (2014). Projecting systems of Human Resources Management. <http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/93373/52-Ivanov.pdf?sequence=1> [in Ukrainian].

Kolesnikov, O., Kolesnikova, K., Lukianov, D., & Sherstyuk, O. (2019). Project Manager Job Description as One of Project Management Key Success Factors. *Herald of Advanced Information Technology*, 2(3), 215–228. doi: 10.15276/HAIT.03.2019.5

Kolesnikova, K. V., Bondar, V. I., Moskalyuk, A. Yu., & Yakovenko, V. O. (2017). Projects Initiation Model Development as a Markov Chain. *Herald of NTU "KhPI". Series: Strategic Management, Portfolio, Programs, and Project Management*, 2(1224), 29–34. doi: 10.20998/2413-3000.2017.1224.5 [in Ukrainian].

Kuchansky, A., Biloshchytyskiy, A., Andrashko, Y., Biloshchytyska, S., Shabala, Y., & Myronov, O. (2018). Development of Adaptive Combined Models for Predicting Time Series Based on Similarity Identification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(4), 32–42.

Kuchansky, A., Biloshchytyskiy, A., Andrashko, Yu., Biloshchytyska, S., Shabala, Ye., & Myronov, O. (2018). Development of Adaptive Combined Models for Predicting TIME Series Based on Similarity Identification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(4), 32–42. doi: 10.15587/1729-4061.2018.121620

Laptiev, O., Savchenko, V., Pravdyvyi, A., Ablazov, I., Lisnevskiy, R., Kolos, O., & Hudyma, V. (2021). Method of Detecting Radio Signals Using Means of Covert by Obtaining Information on the Basis of Random Signals Model. *International Journal of Communication Networks and Information Security*. 13 (1). 48–54.

Lisnevskiy, R., & Kizyak, Ya. O. (2020, November, 26). Use of Multi-Criteria Choice Method in Decision Making Support Systems. *Proceeding of the VII International Scientific Internet Conference. "Current Methods, informational, Software and Technical Provision of Control Systems for Organizational-Technical and Technological Complexes"* (p. 311). National University of Food Technologies [in Ukrainian].



- Lisnevskiy, R., Kostikov, M. P., & Gladka, M. (2020). Programing Tools Integration Analysis of Project Execution as to Possibility of Their Use for Armed Forces of Ukraine Needs. *NUDU, Collection of Proceedings CVSD NUD*, 3(70), 107–112. <http://znp-cvds.nuou.org.ua/article/view/224007> [in Ukrainian].
- Lizunov, P., Biloshchyskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Biloshchyska, S., & Serbin, O. (2021). Development of the Combined Method of Identification of near Duplicates in Electronic Scientific Works. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(4), 112.
- Maslennikova, E. S., & Kolesnikova, K. V. (2013). Components of Behavioral Competences of Project Team Participants Based on Competence Approach. *Complex Systems Development Management*, (10), 48–51 [in Ukrainian].
- Morozov, V., & Kalnichenko, O. (2018). *Construction of an Integrated Model of Management Processes of IT Projects on the Basis of a Proactive Approach*. In Monograph "Modern management: Economy and Administration", 82–89. The Academy of Management and Administration in Opole.
- Professional Standard. (2014). *Information Systems Specialist*. <http://mon.gov.ua/content/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2016/03/15/5-ps-spes-infosystems-13.12.2014.pdf> [in Ukrainian].
- Professional Standard. (2014). *Software Development Specialist*. [Electronic resource]. <http://mon.gov.ua/content/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8/2016/03/15/6-ps-rozrobnik-pz-13.12.2014.pdf> [in Ukrainian].
- Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (6th ed.). (PMBOK®Guide).
- Xu, H., Kuchansky, A., & Gladka, M. (2021). Development of Individually-Oriented Method of Selection of Scientific Activity Subjects for Scientific Projects Implementation Based on Scientometric Analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3(114)), 93–100. doi: 10.15587/1729-4061.2021.248040

Отримано редакцією журналу / Received: 22.03.23

Прорецензовано / Revised: 02.04.23

Схвалено до друку / Accepted: 12.04.23

Myroslava GLADKA, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-5233-2021
e-mail: myroslava.gladka@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Alexander KUCHANSKY, DSc (Engin.), Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1277-8031
e-mail: kuchansky@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Rostyslav LISNEVSKYI, PhD (Engin.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-9006-6366
e-mail: lisnevskiy.rostyslav@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

FORMATION OF THE IT PROJECT TEAM BASED ON THE COMPETENCE CHARACTERISTICS OF THE STAFF

Background. *The paper deals with the problems of IT project team formation using staff competences assessment.*

Methods. *Multi-agent method based on competences matrix analysis is used.*

Results. *The task of forming a project team to develop and implement IT systems in terms of limiting the number of human resources is described. Based on the definition of competency indicators of employees of the company or contractors involved in the implementation of project work, a method of forming a project team involves analysis of competency matrices. When attracting employees to project work that requires the existing competencies and the appropriate level of these competencies, it is proposed to use the values of the characteristics of staff for the selected functionality. On the example of a company for implementing IT systems, an algorithm for forming a project team based on the values of functional competencies is proposed. Forms for the formation of the structure of project commands according to functional tasks of the project and minimum-admissible levels of sizes of characteristics of qualification for performance of these tasks have been designed. Matrices of elements and indicators of labor resources are constructed to determine the possibilities of involving them in the project teams as executors. An algorithm for generating project team members based on the requirements for project tasks and indicators of human resources competence has been built. The forecast of indicators of the probability of involvement of each separate labor resource in the project team structure for development and introduction of information systems is performed.*

Conclusions. *With account of the practical implementation of the method, the conclusion is made that proposed method allows one to not only form project teams but also pose problems for the company leadership as to either increasing qualification of their staff or searching for new personnel with proper qualifications.*

Keywords: *project, workforce, project team, competence, competence matrix.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

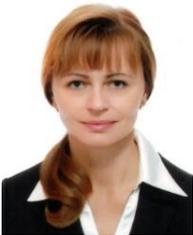


ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ / INFORMATION ABOUT AUTHORS



Андрій Большаков, студ., студент 4-го року навчання кафедри мережових та інтернет технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: програмування на Python, штучний інтелект, операційні системи.

Andrii Bolshakov, Student, Fourth-year-student at the Department of Networking and Internet Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: computer programming on Python, artificial intelligence, operating systems.



Олена Ващіліна, канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри прикладних інформаційних систем факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: використання математики й інформаційних технологій для розв'язання прикладних задач.

Olena Vashchilina, PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Applied Information Systems, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: use of mathematics and information technologies to solve applied problems.



Альона Ворох, магістрантка кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: IoT, аналіз даних, процеси автоматизації.

Alyona Voroch, Master's Student, Master of the 1st year of studies at the Department of Information Systems and Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: IoT, data analysis, automation processes.



Мирослава Гладка, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: дослідження й системний аналіз діяльності підприємств, інжиніринг та автоматизація бізнес-процесів.

Myroslava Gladka, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: research and systematic analysis of enterprises, engineering and automation of business processes.



Григорій Гнатієнко, канд. техн. наук, заступник декана з наукової роботи факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: оброблення експертної інформації, прийняття рішень, системи підтримки прийняття рішень, інформаційні технології.

Hryhorii Hnatiienko, PhD (Engin.), Deputy Dean for Research, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: processing of expert information, decision making, decision support systems, information technologies.



Олександр Голубенко, канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Міжнародного науково-технічного університету імені академіка Юрія Бугая.
Наукові інтереси: векторний синтез, параметрична оптимізація, бази даних.

Oleksandr Golubenko, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Head of the Department of Computer Science and Software Engineering, Academician Yuriy Bugai International Scientific and Technical University.
Research interests: vector synthesis, parametric optimization, databases.



Наталія Дахно, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри мережевих та інтернет технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: системи підтримки прийняття рішень, ітераційні методи розв'язання диференціальних рівнянь, побудова оптимальної траєкторії польоту безпілотного літального апарата.

Natalia Dakhno, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Networking and Internet Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: decision-making support systems, iterational methods of differential equations solution, optimal trajectory planning for unmanned aerial vehicle.



Андрій Дуднік, д-р техн. наук, доц., професор кафедри мережевих та інтернет технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: комп'ютерні мережі, інтернет речей, вимірювання механічних величин.

Andriy Dudnik, DSc (Engin.), Assoc. Prof., Professor of the Department of Networking and Internet Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: computer networks, the Internet of Things, measuring mechanical quantities.



Тімур Желдак, канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету "Дніпровська політехніка".

Наукові інтереси: еволюційні обчислення, експертні системи, штучний інтелект, інтелектуальний аналіз даних.

Timur Zheldak, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Head of the System Analysis and Control Department of the Dnipro University of Technology.

Research interests: evolutionary computing, expert systems, artificial intelligence, and intelligent data analysis.



Ольга Жуланова, бакалавр факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка за спеціальністю "Комп'ютерні науки".

Наукові інтереси: розроблення і навчання нейронних мереж для аналізу даних і побудови прогнозів на їхній основі.

Olga Zhulanova, Bachelor, majoring in "Computer Science", Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: development and training of neural networks for analyzing data and making predictions based on them.



Юрій Зайченко, д-р техн. наук, проф., завідувач відділення другої вищої та післядипломної освіти Інституту прикладного та системного аналізу, професор кафедри математичних методів системного аналізу Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: теорія прийняття рішень в умовах невизначеності, застосування систем із нечіткою логікою та нечітких нейромереж в інтелектуальних системах, розроблення нових моделей, методів та алгоритмів у сфері обчислювального інтелекту та застосування їх в економіці та фінансовому аналізі.

Yuriy Zaichenko, DSc (Engin.), Prof., Head of the Department of Second Higher and Postgraduate Education of the Institute of Applied and System Analysis, Professor of the Department of Mathematical Methods of System Analysis of Ihor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute.

Research interests: the theory of decision-making under conditions of uncertainty, the application of systems with fuzzy logic and fuzzy neural networks in intelligent systems, the development of new models, methods and algorithms in the field of computational intelligence and their application in economics and financial analysis.



Ілля Зіборов, асп., аспірант Національного технічного університету "Дніпровська політехніка".

Наукові інтереси: еволюційні обчислення, нейронні мережі, прийняття рішень, мережні технології.

Ilya Ziborov, PhD Student of Dnipro University of Technology.

Research interests: evolutionary computing, neural networks, decision-making, network technologies.



Олег Іларіонов, канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри інтелектуальних технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: засоби і технології для розроблення інформаційних систем управління технологічними процесами та об'єктами різної фізичної природи.

Oleh Ilarionov, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Head of the Department of Intelligent Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: tools and technologies for the development of information systems for managing technological processes and objects of various physical nature.



Лілія Кашапова, магістрантка кафедри технологій управління факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: управління проєктами, інформаційні технології в управлінні.

Liliia Kashapova, Master's Student. Department of Management Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: project management, information technologies in management.



Ольга Кравченко, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: інтернет речей, інтелектуальний аналіз даних, інформаційні впливи на особистість.

Olha Kravchenko, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: Internet of things, intelligent data analysis, informational effects on personality.



Юрій Кравченко, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри мережевих та інтернет технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: телекомунікаційні системи, функціональна стійкість складних систем, штучний інтелект.

Yurii Kravchenko, DSc (Engin.), Prof., Head of the Department of Networking and Internet Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: telecommunication systems, functional stability of complex systems, artificial intelligence.



Гліб Криволапов, студ., студент другого курсу факультету інформаційних технологій та математики Київського столичного університету імені Бориса Грінченка.

Наукові інтереси: математика, мови програмування, розроблення комп'ютерних ігор.

Hlib Kryvolapov, Student, Second-year student of the Faculty of Information Technologies and Mathematics of the Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University.

Research interests: mathematics, programming languages, development of computer games.



Ярослав Криволапов, асист., асистент кафедри прикладних інформаційних систем факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: розв'язання задач ідентифікації та цифрового оброблення даних.

Yaroslav Kryvolapov, Assist., Assistant of the Department of Applied Information Systems, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv. Research interests: solving problems of identification and digital data processing.



Олександр Кучанський, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: наукометрія, наукова співпраця, аналіз часових рядів, розпізнавання образів.

Alexander Kuchansky, DSc (Engin.), Prof., Head of the Department of Information Systems and Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: scientometrics, scholarly communication, time series data mining, pattern matching.



Ольга Лещенко, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри мережевих та інтернет технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: системи керування, інформаційно-комунікаційні мережі, нейронні мережі, інформаційні технології.

Olga Leshchenko, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Networking and Internet Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: control systems, infocommunication networks, neural networks, information technologies.



Ростислав Лісневський, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: дослідження й системний аналіз діяльності підприємств, інжиніринг та автоматизація бізнес-процесів. Консультування підприємств з впровадження інформаційних систем.

Rostyslav Lisnevskiy, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: research and systematic analysis of enterprise activities, engineering and automation of business processes. Advising companies on the implementation of information systems.



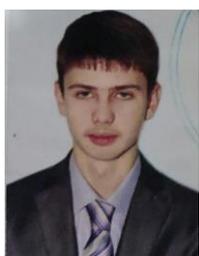
Валентина Плєскач, д-р екон. наук, проф., завідувач кафедри прикладних інформаційних систем факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Наукові інтереси: інформаційно-аналітичні системи, інтелектуальні системи, системи економіко-математичного моделювання, планування і прогнозування, цифрова економіка, електронний бізнес, електронна комерція.

Valentyna Pleskach, DSc (Econ.), Prof., Head of the Department of Applied Information Systems, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: Information and analytical systems, intelligent systems, systems of economic and mathematical modeling, planning and forecasting, digital economy, e-business, e-commerce.



Олександр Плющ, д-р техн. наук, доц., професор кафедри мережевих та інтернет технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: телекомунікаційні системи, мережі мобільного зв'язку, адаптивні антенні решітки.

Oleksandr Pliushch, DSc (Engin.), Assoc. Prof., Professor of the Department of Networking and Internet Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
Research interests: telecommunication systems, mobile networks, adaptive antennas.



Дмитро Сивоглаз, асп., аспірант кафедри інформаційних технологій проектування Черкаського державного технологічного університету.
Наукові інтереси: програмування на Python, інформаційні системи.

Dmytro Syvohlaz, PhD Student, Postgraduate student of the 2nd year of studies at the Department of Design Information Technologies of the Cherkasy State Technological University.
Research interests: Python programming, information systems.



Тетяна Старовойт, студ., студентка п'ятого курсу кафедри гідроінформатики Національного університету водного господарства та природокористування.

Наукові інтереси: геоспросторовий штучний інтелект, квантовий штучний інтелект, методи обчислювального інтелекту в системах розподілу води, когнітивні обчислення, ройовий інтелект.

Tania Starovoyt, Student, 5th-year student of the Department of Hydroinformatics of the National University of Water and Environmental Engineering.

Research interests: geospatial artificial intelligence, quantum artificial intelligence, computational intelligence methods in water distribution systems, cognitive computing, swarm intelligence.



Ольга Ткаченко, д-р техн. наук, проф., професор кафедри програмних систем і технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: оптимізація та моделювання систем і мереж, інформаційні технології, розподілені інформаційні системи.

Olyga Tkachenko, DSc (Engin.), Prof., Professor of the Department of software systems and technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: optimization and modeling of systems and networks, information technologies, distributed information systems.



Наталія Тмєнова, канд. фіз.-мат. наук, доц., заступник декана з навчально-виховної роботи факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: оброблення природної мови, технології електронного навчання, дослідження систем масового обслуговування, дослідження випадкових процесів.

Nataliia Tmienova, PhD (Phys. & Math.), Assoc. Prof., Deputy Dean of Academic Studies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: natural language processing, e-learning technologies, queuing systems research, random processes research.



Олександр Труш, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри мережевих та інтернет технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: телекомунікаційні системи, інтелектуальні комп'ютерні мережі, інтернет речей.

Oleksandr Trush, PhD (Engin.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Networking and Internet Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: telecommunication systems, intelligent computer networks, internet of things.



Юлія Хлевна, д-р техн. наук, проф., професор кафедри технологій управління факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: методологія управління проектами, інформаційні технології в управлінні, інтелектуальні інформаційні технології, наука про дані.

Iuliia Khlevna, DSc (Engin.), Prof., Professor of the Department of Management Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: project management methodology, information technology in management, intelligent information technologies, data science.



Андрій Хлевний, канд. техн. наук, асист., асистент кафедри технологій управління факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси: управління проектами, інформаційні технології в управлінні, інтелектуальні інформаційні технології, наука про дані.

Andrii Khlevnyi, PhD (Engin.), Assist., Assistant of the Department of Management Technologies, Faculty of Information Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Research interests: project management, information technology in management, intelligent information technologies, data science.

Наукове видання



СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

№ 1(2)/2023

Редактор *Л. Магда*

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали.



Формат 60x84^{1/16}. Ум. друк. арк. 12,0. Наклад 100. Зам. № 223-10834.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № ІТ5.
Підписано до друку 28.12.23

Видавець і виготовлювач
ВПЦ "Київський університет",
Б-р Тараса Шевченка, 14, м. Київ, 01601, Україна
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 58; (38044) 239 31 28
e-mail: vpc@knu.ua; vpc_div.chief@univ.net.ua; redaktor@univ.net.ua
http: vpc.univ.kiev.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02